

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ZAGREB

Igor Novosel

Širokopojasne pristupne tehnologije

Završni rad

Zagreb, 2018.

Zagreb, 16. ožujka 2018.

Zavod: **Zavod za informacijsko komunikacijski promet**
Predmet: **Arhitektura telekomunikacijske mreže**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 4435

Pristupnik: **Igor Novosel (0135225442)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Informacijsko-komunikacijski promet**

Zadatak: **Širokopojasne pristupne tehnologije**

Opis zadatka:

Definirati i objasniti osnovne segmente telekomunikacijske mreže. Usporediti prijenosne medije. Analizirati žične i bežične pristupne tehnologije. Opisati teleusluge temeljene na širokopojasnom pristupu.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:

dr. sc. Ivan Forenbacher

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ZAGREB

ŠIROKOPOJASNE PRISTUPNE TEHNOLOGIJE

Broadband Access Technologies

ZAVRŠNI RAD

Predmet: Arhitektura telekomunikacijske mreže

Mentor: dr.sc. Ivan Forenbacher

Student: Igor Novosel
0135225442

Zagreb, rujan 2018.

ŠIROKOPOJASNE PRISTUPNE TEHNOLOGIJE

SAŽETAK

Na početku razvoja telekomunikacija pristup telekomunikacijskoj mreži i uslugama omogućavao je krajnjim korisnicima prvenstveno prijenos govornih usluga. Dolaskom novih pristupnih tehnologija i nadogradnjom postojeće telekomunikacijske mreže, krajnjim korisnicima omogućilo je korištenje nekoliko usluga istovremeno, poput istovremenog pristupa Internetu, govornoj komunikaciji, pristup podacima, video uslugama itd. Stoga, glavni cilj ovoga rada je analizirati žične i bežične širokopojasne pristupne tehnologije te pripadajuće prijenosne medije. Budući da je telekom operatorima pomoću bežične lokalne petlje jednostavnije i ekonomičnije ostvariti pristup mreži krajnjim korisnicima koji se nalaze u ruralnim sredinama, evidentan je ubrzani razvoj bežičnih širokopojasnih pristupnih mreža poput 3G i 4G tehnologija. Ipak, u urbanim gradskim područjima dominiraju žične pristupne tehnologije, a najviše se ističe širokopojasni pristup putem optičkih vlakana koji omogućuje vrlo visoke brzine prijenosa podataka na velikim udaljenostima. Mogućnost korištenja širokopojasnih usluga u pokretu i spajanje motornih vozila na mobilnu mrežu pomoću 4G routera nešto je što uvelike konkuriira žičnim pristupnim tehnologijama i očito je kako će se razvojem i poboljšanjem mobilnih tehnologija mnogi korisnici u budućnosti odlučiti za korištenje bežičnih pristupnih mreža.

KLJUČNE RIJEČI: Pristupna mreža, širokopojasnost, prijenosni mediji, usluge, lokalna petlja, telekom operatori, krajnji korisnici

BROADBAND ACCESS TECHNOLOGIES

SUMMARY

At the beginning of development of telecommunications the access to telecommunication network and services enabled the end users primarily the transfer of voice services. Arrival of new access technologies and upgrade of the existing telecommunication network enabled the end users to simultaneously use several services, such as simultaneously use of Internet access, voice services, data access, video services etc. Therefore, the main objective of this thesis is to analyse wired and wireless broadband access technologies and transmission media.

Due to the fact that telecom operators find it easier and more cost efficient to use a wireless local loop in order to establish access to network to their end users located in the rural areas, quick development of wireless broadband access networks like 3G and 4G technologies is more than evident. However, urban city areas are dominated by wired access technologies, primarily broadband access through optic fibres which enable very high speed of data transfer at long distances. Possibility to use broadband services in motion and connection of motor vehicles to mobile network by means of 4G router to a great extent competes with wired access technologies and it is obvious that development and improvement of mobile technologies will encourage numerous users to use wireless access networks.

KEYWORDS: access network, broadband, transfer media, services, local loop, telecom operators, end users

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. SEGMENTACIJA TELEKOMUNIKACIJSKE MREŽE	3
2.1. Referentni model telekomunikacijske mreže	5
2.2. Pristupna mreža (posljednja milja).....	7
3. PRIJENOSNI MEDIJI	10
3.1. Bakrena parica.....	11
3.2. Koaksijalni kabel.....	13
3.3. Optičko vlakno	15
3.4. Elektromagnetski valovi (slobodni prostor)	19
4. ŽIČNE TEHNOLOGIJE ŠIROKOPOJASNOG PRISTUPA.....	22
4.1. Širokopojasni pristup putem bakrene parice	23
4.2. Širokopojasni pristup putem optičkih vlakana	30
4.3. Širokopojasni pristup putem koaksijalnog kabla.....	33
5. BEŽIČNE TEHNOLOGIJE ŠIROKOPOJASNOG PRISTUPA.....	35
5.1. IEEE 802.11 (WiFi)	36
5.2. IEEE 802.16 (WiMAX)	39
5.3. 3G mobilna mreža	42
5.4. 4G mobilna mreža	45
6. TELEUSLUGE ŠIROKOPOJASNIH PRISTUPNIH MREŽA	48
6.1. IPTV i usluge s dodanom vrijednosti.....	48
6.2. OTT usluge.....	52
6.3. Usluga računarstva u oblaku	54
6.4. Usluge u pokretu korištenjem 4G routera	56
7. ZAKLJUČAK	58

LITERATURA.....	59
POPIS KRATICA	61
POPIS ILUSTRACIJA.....	65
Popis slika	65
Popis tablica	66

1. UVOD

Pristupna mreža kao dio arhitekture telekomunikacijske mreže predstavlja važan dio telekomunikacijskog sustava pomoću koje krajnji korisnici pristupaju jezgrenoj mreži te tako imaju mogućnost pristupiti raznim telekomunikacijskim uslugama koje nude davatelji usluga. Omogućiti što kvalitetniji i učinkovitiji pristup uslugama jedna je od glavnih zadaća telekom operatera, a način na koji se pristup uslugama ostvaruje prvenstveno ovisi o korisničkim zahtjevima i ekonomičnosti same pristupne tehnologije. Na počecima razvoja telekomunikacija pristup uslugama zasnivao se prvenstveno na govornim uslugama, a nadogradnjom postojeće telekomunikacijske mreže i pojavom novih širokopojasnih pristupnih tehnologija omogućeno je korištenje nekoliko usluga istovremeno kao što je npr. pristup Internetu, pristup govornoj komunikaciji, pristup podacima, video uslugama itd.

Pristup lokalnoj petlji moguće je izvesti žično ili bežično, pa je prema tome žična pristupna tehnologija najviše izražena u gradskim urbanim područjima, dok su bežične tehnologije zbog jednostavnije i ekonomičnije infrastrukture najviše zastupljene u brdsko-planinskim područjima. Pojavom brzih paketskih mobilnih tehnologija i mogućnost korištenja usluga u pokretu predstavlja sasvim nove mogućnosti u pružanju usluga krajnjim korisnicima, pa se prema tome mnogi korisnici u urbanim gradskim područjima upravo odlučuju za mobilne bežične tehnologije. Tema završnog rada je **Širokopojasne pristupne tehnologije**, a materija je izložena u sedam poglavlja:

1. UVOD
2. SEGMENTACIJA TELEKOMUNIKACIJSKE MREŽE
3. PRIJENOSNI MEDIJI
4. ŽIČNE TEHNOLOGIJE ŠIROKOPOJASNOG PRISTUPA
5. BEŽIČNE TEHNOLOGIJE ŠIROKOPOJASNOG PRISTUPA
6. TELEUSLUGE ŠIROKOPOJASNIH PRISTUPNIH MREŽA
7. ZAKLJUČAK

U drugom poglavlju prikazana je segmentacija telekomunikacijske mreže, tj. cjelokupna arhitektura telekomunikacijske mreže koja omogućuje distribuciju informacija

između više krajnjih korisnika, a posebno je objašnjen pristupni dio telekomunikacijske mreže putem koje krajnji korisnici ostvaruju pristup jezgrenoj mreži, te je navedena problematika posljednje milje (engl. Last Mile) kojom se susreću telekom operateri pri izgradnji pristupne mreže.

U trećem poglavlju opisane su vrste prijenosnih medija putem kojih se ostvaruje povezivanje korisničke opreme s lokalnom centralom telekom operatera, a objašnjeni su žični prijenosni mediji putem kojih informacija putuje električkim ili svjetlosnim signalima i bežični prijenosni mediji koji putem zraka, tj. slobodnog prostora koriste elektromagnetske valove kao nositelje informacije.

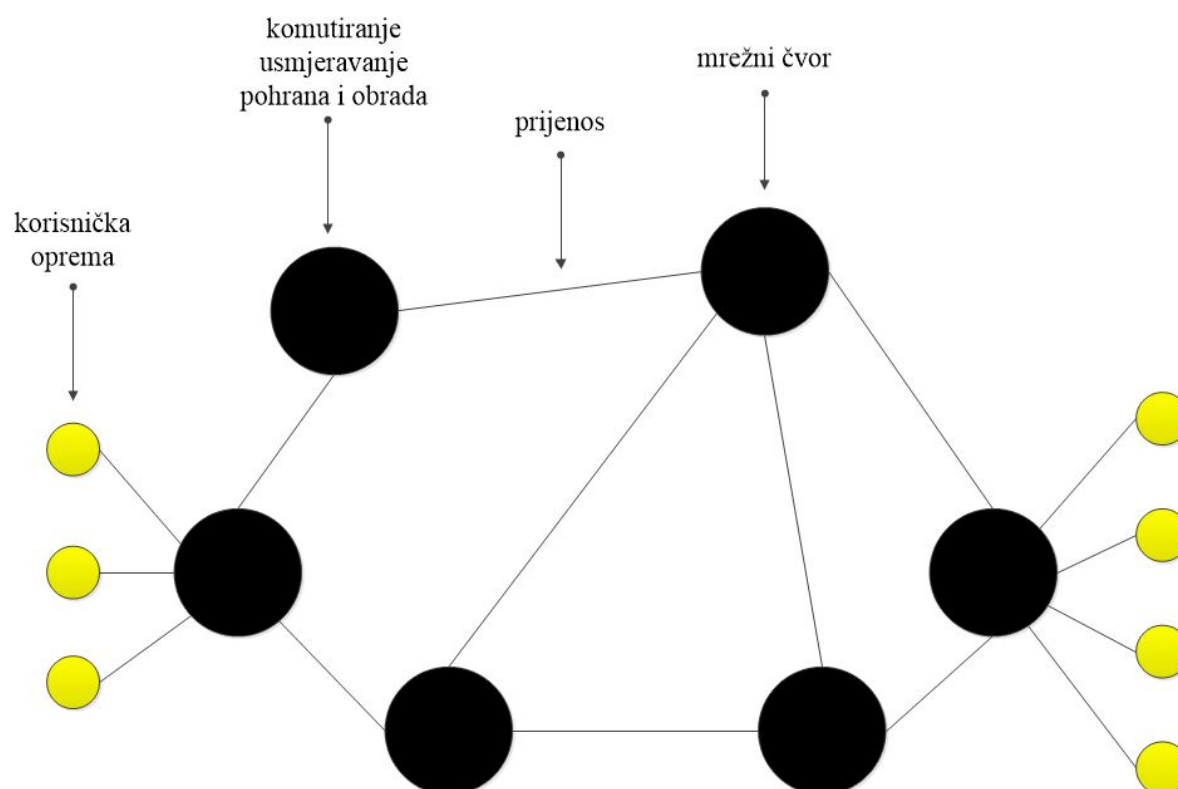
U četvrtom poglavlju objašnjene su žične tehnologije širokopojasnog pristupa, a ističu se širokopojasne pristupne tehnologije putem bakrene parice koje predstavljaju najekonomičniju varijantu žičnih pristupnih tehnologija za telekom operatere, zatim opisana je širokopojasna pristupna tehnologija putem koaksijalnog kabela koja kao temeljnu arhitekturu koristi mrežu kabela televizije i opisana je širokopojasna pristupna tehnologija putem optičkih vlakana koja omogućuje najkvalitetniji pristup od svih žičnih pristupnih tehnologija, a koja omogućuje velike brzine prijenosa podataka na velikim udaljenostima.

U petom poglavlju opisane su bežične pristupne tehnologije koje kao gradske radijske mreže omogućuju pristup uslugama u brdsko – planinskim područjima, te su opisane suvremene mobilne pristupne tehnologije koje svojim razvojem omogućuju brzi paketski i govorni prijenos u pokretu.

U šestom poglavlju prikazane su suvremene širokopojasne teleusluge koje su se pojavile na tržištu upravo pojavom novih pristupnih tehnologija. Over the Top Content usluga koja je postala veoma izražena u svakodnevnoj uporabi korisnika pojavom pametnih mobilnih telefona, kao i računalstvo u oblaku i IPTV koje su se pojavile razvojem digitalne pretplatničke linije i svjetlovodnih niti. Također, pojavom mobilnih širokopojasnih pristupnih mreža, sve je češće povezivanje motornih vozila na mrežu telekom operatera, a jedan od načina je korištenje 4G routera koji je objašnjen u ovom poglavlju.

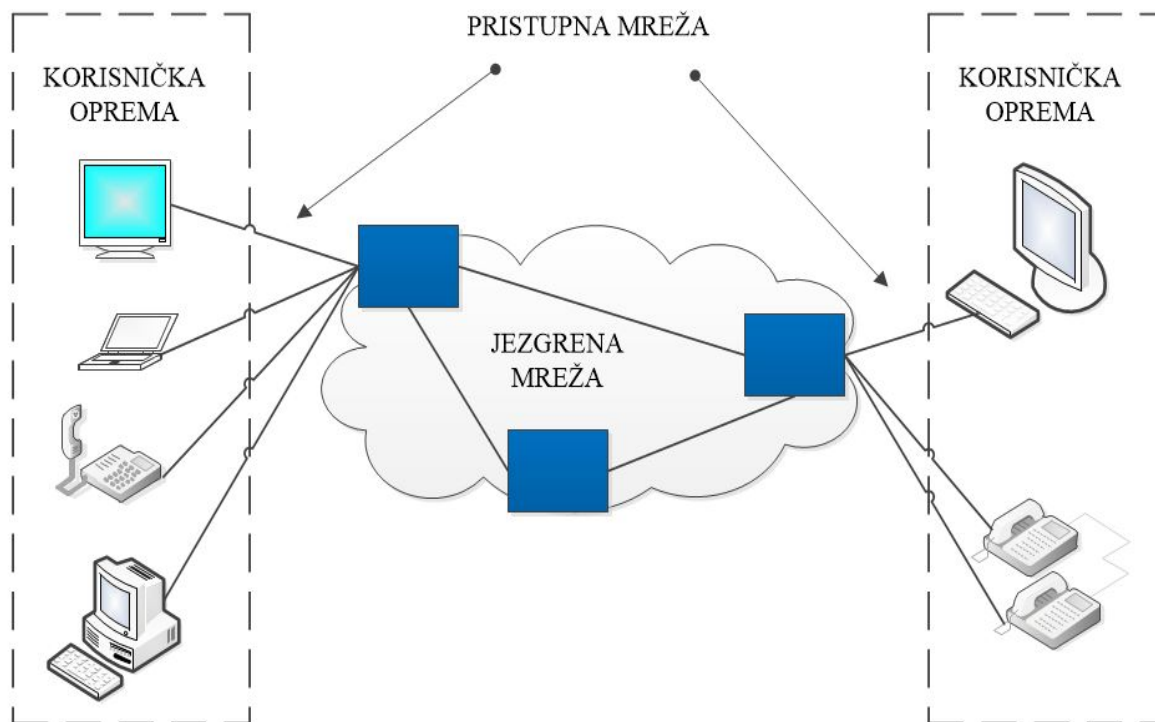
2. SEGMENTACIJA TELEKOMUNIKACIJSKE MREŽE

Mreža (engl. network) u pravilu se prikazuje kao struktura koju čine čvorovi i linkovi. Čvorovi su predstavljeni kao partikularne točke u prostoru, a linkovi (grane) su linije između samih čvorova. Svaka mreža razlikuje se po svojim čvorištima i linkovima, tj. čvorovi i linkovi jedinstveno opisuju svaku komunikacijsku mrežu na koju se spajaju razna korisnička komunikacijska oprema. U čvorovima komunikacijskog sustava obavljaju se funkcije komutiranja (engl. switching) komunikacijskih kanala sa svojih ulaza na svoje izlaze, zatim obavlja se funkcija usmjeravanja (engl. routing) informacija prema drugim čvorovima i po potrebi pohrana informacija. Prijenosni mediji povezuju čvorove preko kojih se prenosi informacija (engl. transmission), a to obavljaju prijenosni ili transmisijski sustavi. Prikaz komunikacijske mreže nalazi se slici 1., [1], [2].



Slika 1.: Prikaz komunikacijske mreže. Podatci od [2].

Slikom 2., prikazana je temeljna podjela telekomunikacijske mreže koja se segmentira kao korisnička mreža (engl. User premises equipment), pristupna mreža (engl. Access network) i jezgrena mreža (engl. Core network).



Slika 2.: Segmentacija telekomunikacijske mreže. Podatci od [3].

Temeljni dio korisničke mreže sastoji se od krajnjih terminalnih uređaja (engl. End – device) i taj dio mreže nalazi se isključivo na korisničkoj strani. Pristupna mreža omogućuje krajnjim korisnicima da se sa svojim terminalnim uređajima povežu na jezgrenu mrežu. U tom dijelu mreže obavlja se agregacija i multipleksiranje prometa. Jezgrena mreža predstavlja središnji dio komunikacijske mreže, te taj dio mreže omogućuje usmjeravanje i prijenos informacija između dva rubna dijela mreže, [3], [4].

2.1. Referentni model telekomunikacijske mreže

Prema autorima, [4], [5], [6], telekomunikacijsku, tj. informacijsku mrežu moguće je definirati, tj. segmentirati poopćenim modelom čiju strukturu čini skup međusobno povezanih podsustava. Takva vrsta modela izgrađuje se radi boljeg razumijevanja cjelokupnog sustava, a pomaže kod vizualizacije stvarnog sustava. Prema referentnom modelu, telekomunikacijska mreža opisana je kao složeni prostorno–distribuiran sustav čiju strukturu čini skup povezanih podsustava, a to su: korisnički dio mreže, pristupna podmreža, komutacijska podmreža, transmisijaska podmreža, podsustav za dodatne (IN) funkcionalnosti i podsustav za upravljanje mrežom (engl. Network Management). Slikom 3., na str. 6., prikazan je poopćeni referentni model telekomunikacijske mreže.

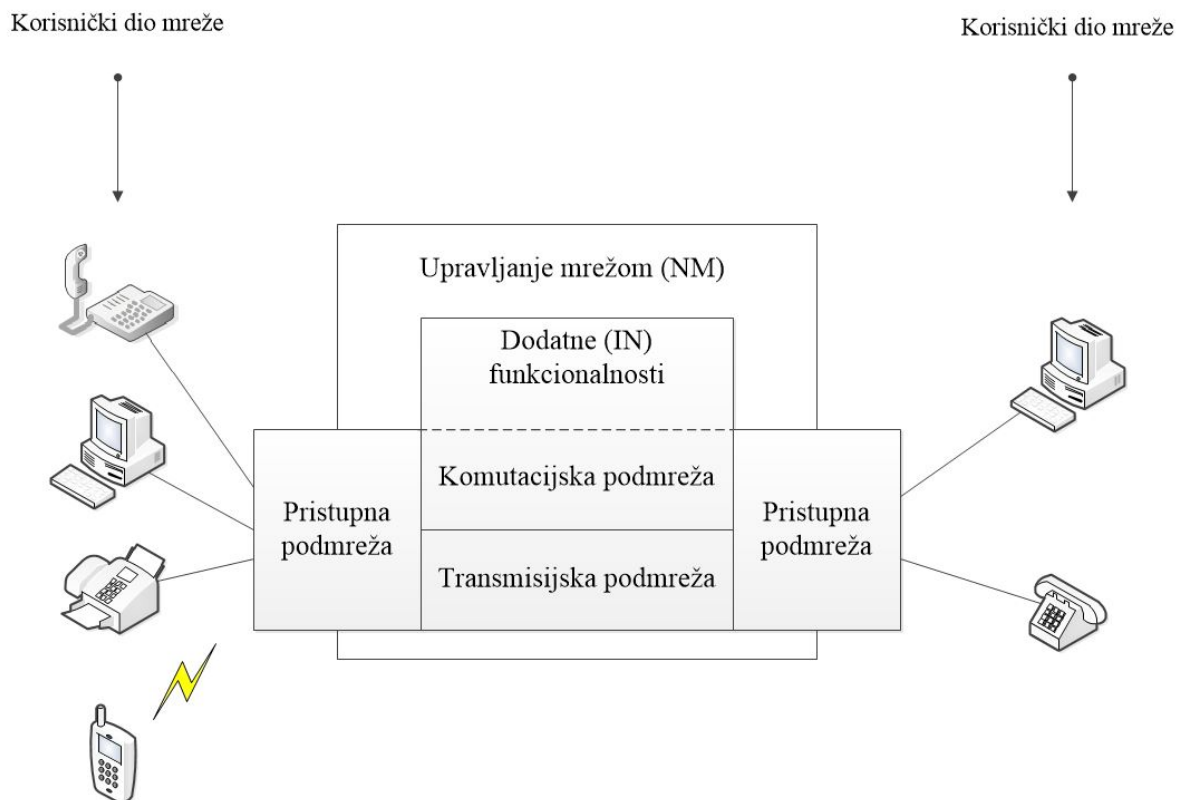
Komutacijska podmreža predstavlja čvorišta u telekomunikacijskoj mreži (centrale) koji imaju ulogu prospajanja (komutacije) i usmjeravanja prometa prema drugim mrežama.¹ Transmisijaska podmreža sastoji se od transmisijaskih linkova koji povezuju čvorišta, a za povezivanje se koriste različiti prijenosni mediji kao što su npr. bakrena parica i optički kabel pomoću kojih se prenosi određena količina informacija, te se koriste uređaji poput modulatora i multipleksora.

Pristupnu podmrežu čini korisnički dio mreže i pristupne tehnologije, a čine je korisnički (pretplatnički) terminalni uređaji koji su spojeni na lokalnu centralu raznim pristupnim tehnologijama. O pristupnim tehnologijama i njihovim glavnim karakteristikama bit će opisano u nastavku rada.

Upravljanje mrežom (NM, engl. Network Management) moguće je realizirati mrežnom opremom koja će otklanjati incidentne situacije u slučaju određenih problema u mreži kao i održavanje mreže te strategije izgradnje mrežnih kapaciteta.

Dodatne (IN, engl. Intelligent Network) funkcionalnosti su dodatne usluge kao što su preusmjeravanje poziva, poziv na čekanju, prikaz broja itd., koja se ugrađuju u posebna čvorišta inteligentne mreže.

¹ ITU–T (engl. International Telecommunication Union) definira komutiranje kao uspostavljanje individualne veze na zahtjev, od željenog ulaza do željenog izlaza dokle god to zahtijeva prijenos informacija



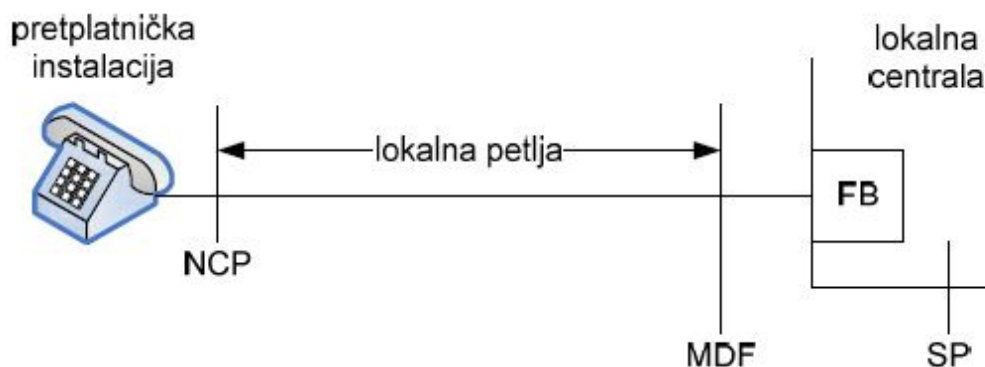
Slika 3.: Poopćeni (referentni) model telekomunikacijske mreže. Podatci od [4], [5], [6].

Telekomunikacijsku mrežu moguće je realizirati kao fiksnu i pokretnu mrežu. Fiksna mreža omogućuje pristup krajnjem korisniku preko fiksne pristupne točke, najčešće putem fizičkog medija, čime je ograničeno njegovo kretanje. Pokretna mreža pruža korisniku bežični pristup čime je omogućeno kretanje i korištenje usluge u području pokrivenim radijskim signalom, [2].

Prema svemu navedenom, vidljivo je kako telekomunikacijski sustav, tj. mrežu čine skup podsustava koji obavljaju neku svoju vrstu zadaće, te na takav način zajedno omogućuju pružanje informacijskih usluga krajnjem korisniku. Mreža se može realizirati žično ili bežično, ali temelj svake telekomunikacijske mreže su njegovi podsustavi bez kojih ne bi mogao obavljati svoju temeljnu zadaću, a to je omogućiti pristup i komunikaciju svim korisnicima telekomunikacijske mreže.

2.2. Pristupna mreža (posljednja milja)

Pristupna mreža sastoji se od lokalnih petlji i pridružene mrežne opreme pa se taj dio mreže naziva i pretplatnička linija (engl. Subscriber Lines). Pomoću pristupne mreže krajnji korisnik pristupa jezgrenoj mreži te tako ima pristup raznim uslugama. Lokalna petlja je dio područja koja povezuje krajnjeg korisnika s lokalnom centralom. Granica između pristupne i javne mreže može se definirati tako da funkcije usmjeravanja i komutiranja najčešće pripadaju javnoj mreži, a prijenosne tehnologije koje povezuju krajnje korisnike s javnom mrežom tvore pristupnu mrežu. Na slici 4., prikazana je lokalna petlja kao pristup PSTN – u ², a vidljiva je točka priključenja na mrežu (engl. Network Connection Point, NCP), glavni razdjelnik (engl. Main Distribution Frame, MDF), komutacijska točka (engl. Switching Point, SP) i sklop za napajanje linije (engl. Feeder Bridge, FB), [2], [4].



Slika 4.: Lokalna petlja kao linija za pristup PSTN – u. Preuzeto od [2].

Pojam pristupna mreža često je vezana za drugi pojam koji se naziva „last mile“ (posljednja milja). Posljednja milja je naziv za dio mreže koja povezuje krajnjeg korisnika direktno s mrežnom opremom davatelja usluga. To je često onaj dio mreže koji nema baš uvijek najbolje nadograđeni sustav za prijenos informacija kada se uzme u obzir cjelokupna mreža davatelja usluge i taj dio mreže, može se reći u većini slučajeva tehnološki zaostaje za ostalim dijelovima mreže, [7].

² PSTN (engl. Public Switched Telephone Network) je skraćeni naziv za mrežu koja pruža usluge javne komutirane telefonske mreže

To je jedan veliki problem pristupne mreže jer na primjer u ruralnim područjima ponekad nije moguće uvesti fiksnu pristupnu tehnologiju velikih brzina prijenosa podataka pa je potrebno pronaći drugi način kako isporučiti potrebne usluge krajnjim korisnicima.

Pristupne tehnologije su jedne od najkritičnijih područja telekomunikacijske mreže kada se radi o isporuci usluge krajnjem korisniku. Može se reći da je lanac (cjelokupna telekomunikacijska mreža) jak koliko i njegova najslabija karika (pristupne tehnologije u TK mreži). Pod pretpostavkom konkurentnog tržišta, pružatelji usluga imaju dvije opcije, [3]:

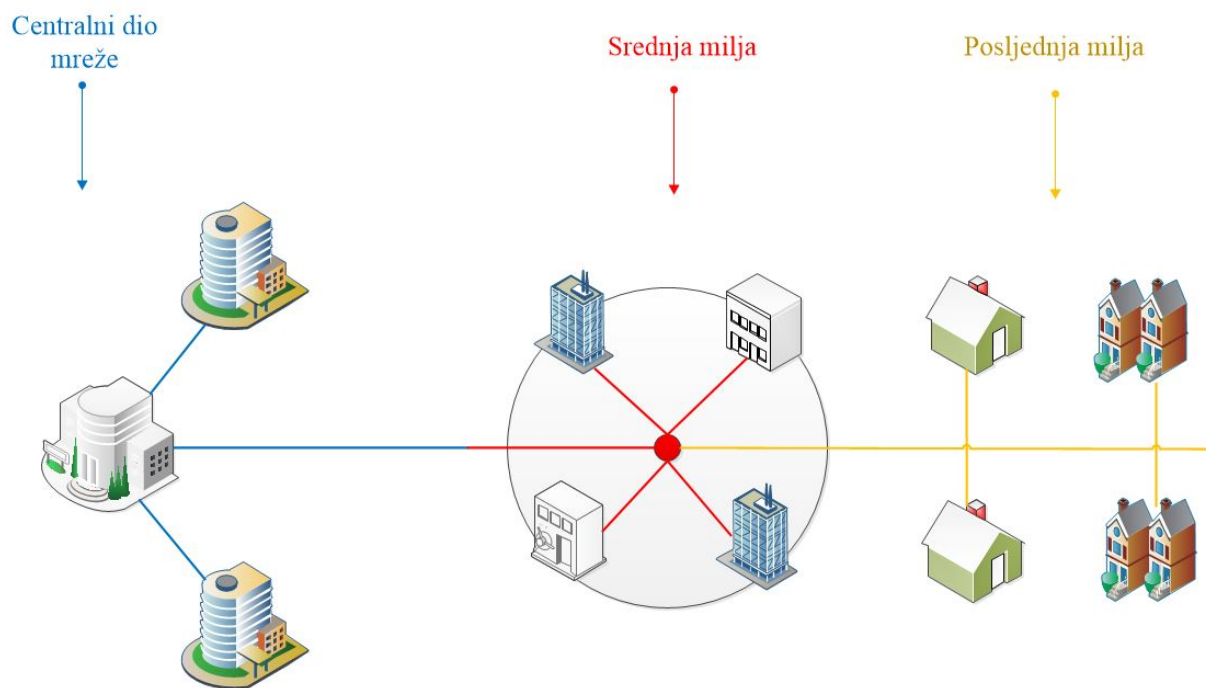
1. Izgraditi pristupnu mrežu zajedno sa distribucijskom telekomunikacijskom kanalizacijom (DTK) ³, ili
2. Kupiti/unajmiti pristupnu mrežu zajedno sa DTK

Prema HAKOM – u ⁴, kabela kanalizacija predstavlja mrežu od jedne ili više podzemnih cijevi u istom rovu od odgovarajućih materijala i veličina, kabelskih zdenaca (montažnih ili monolitnih zidanih na lokaciji) i odgovarajuće popratne opreme (odstojni držači cijevi, poklopci kabelskih zdenaca, čepovi za cijevi, oznake itd.), a omogućuje brzo i učinkovito uvlačenje novih telekomunikacijskih kabela, zatim brzu i učinkovitu zamjenu postojećih TK kabela kod rekonstrukcije mreže, te brz i učinkovit popravak telekomunikacijskih kabela u slučaju oštećenja, a da se pritom ne oštećuje površina ulice ili prometnice, odnosno da se ne ometa promet, [8].

Širokopojasna pristupna mreža sadržana je u centralnom dijelu mreže (engl. Backbone), srednjoj milji (engl. Middle Mile) i u posljednjoj milji (engl. Last Mile). Slikom 5., na str. 9., prikazana je temeljna infrastruktura širokopojasne mreže.

³ DTK (Distribucijska telekomunikacijska kanalizacija) je podzemna infrastruktura, tj. cijevi kroz koje je provučena telekomunikacijska oprema

⁴ HAKOM (Hrvatska regulatorna agencija za mrežne djelatnosti)



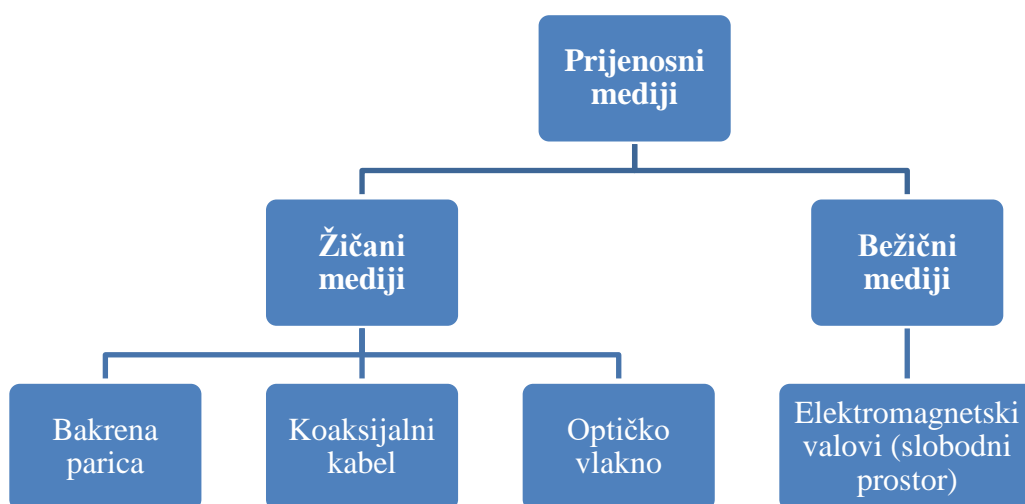
Slika 5.: Infrastruktura širokopojasne mreže. Podatci od [9].

Centralni dio mreže (engl. Backbone) sastoji se od linkova velikih kapaciteta, najčešće optičkih linkova koja povezuju ostale dijelove mreže, te mogu prenositi velike količine podataka. Pruža informacijski prometni tok lokalnim i regionalnim mrežama kako bi mogle prenositi podatke na velikim udaljenostima. Na tom dijelu mreže vlasnici su najčešće privatni pružatelji usluga, vlada, akademska zajednica i ostali mrežni operateri. Srednja milja (engl. Middle Mile) su linkovi pružatelja internetske usluge (ISP, engl. Internet Service Provider) ili lokalna centrala mrežnog operatera koji su povezani s centralnim dijelom mreže (engl. Backbone). U nekim slučajevima srednja milja povezuje određene važne institucije (policija, bolnica itd.) kako bi mogle dijeliti aplikacije, infrastrukturu i ostale resurse međusobno, [9].

Posljednja milja (engl. Last Mile) povezuje krajnje kućne i poslovne korisnike s pružateljima mrežne usluge koji poslužuju to područje. Svi dijelovi infrastrukture širokopojasne mreže veoma su bitni, ali ipak najveći fokus cijele infrastrukture je upravo dostupnost mreži posljednja milja. Često je prisutna velika razlika između korisnika koji su povezani srednjom miljom i korisnika koji su povezani posljednjom miljom, a razlika se očituje u mrežnoj infrastrukturi, pristupnoj brzini i količini prenesenih podataka, [7], [9].

3. PRIJENOSNI MEDIJI

Podjela prijenosnih medija uključuje žične i bežične medije za prijenos informacija (vidljivo na slici 6.). Žični mediji omogućuju isključivo žičnu komunikacijsku vezu između dva ili više uređaja u mreži. Pod žične medije pripadaju bakrena parica, koaksijalni kabel i optički kabel. Bakrena parica i koaksijalni kabel prenose informacije putem električnih signala, dok se optički kabel sastoji od stakla i prijenos informacije omogućen je svjetlosnim signalima. Bežični mediji koriste elektromagnetske valove u slobodnom prostoru (vakuum ili zrak) za prijenos informacija. Koriste se prvenstveno u ruralnim područjima gdje nije toliko razvijena žična pristupna tehnologija. U bežične prijenosne medije pripadaju radiovalovi, mikrovalovi i infracrvene zrake, [4], [10].

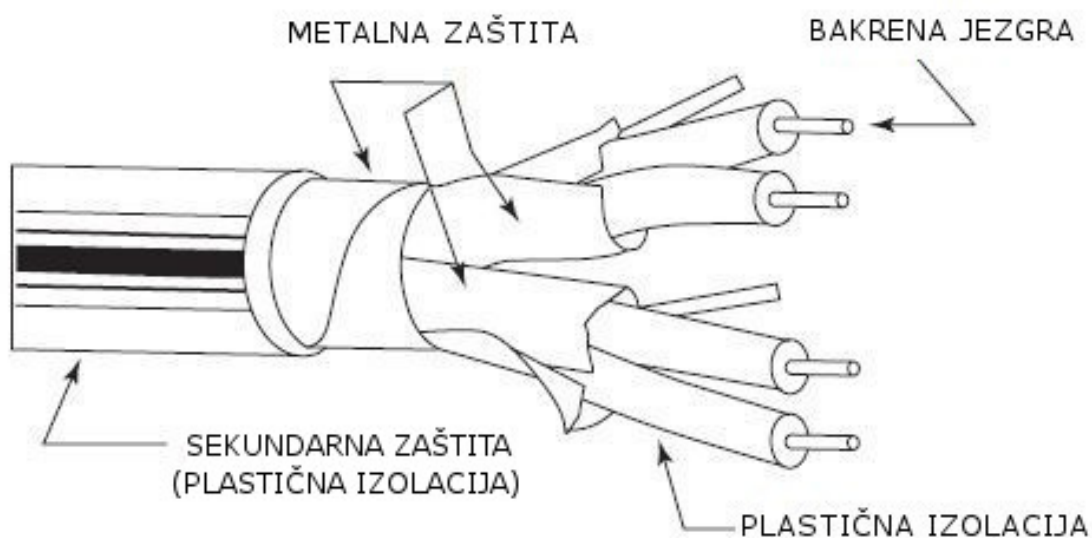


Slika 6.: Osnovna podjela prijenosnih medija. Podatci od [4], [10].

Iz navedenog vidljivo je da informacije koje putuju od i prema korisniku se prenose putem transmisijske, tj. prijenosne mreže pomoću električnih, svjetlosnih i radijskih signala. Također, prijenos informacija može se promatrati s različitih aspekata kao što su analogni ili digitalni prijenos, a sve to omogućeno je putem prijenosnih medija koji mogu biti žični ili bežični, ovisno o njihovoj namjeni i primjeni.

3.1. Bakrena parica

Struktura prijenosnog medija bakrene parice sastoji se od dva međusobno izolirana i upredena vodiča. Većinom je sama struktura bakrene parice napravljena tako da je sama bakrena parica smještena unutar kabela i zaštićena zajedničkim omotačem, te tako dolazi u dvije izvedbe kao oklopljena (STP – engl. Shielded Twisted Pair) i neoklopljena (UTP – engl. Unshielded Twisted Pair), [4], [10].



Slika 7.: Struktura oklopljene STP bakrene parice. Preuzeto od [10].

Slika 7., prikazuje strukturu prijenosnog medija bakrene parice koja dolazi kao STP izvedba, tj. oklopljeni kabel. Upredena parica kao što je vidljivo na slici 7., predstavlja par upletenih bakrenih žica okruženih plastičnom izolacijom koja ga štiti od oštećenja. Oklopljeni STP kabel koristi metalnu zaštitu (metalni plašt) koja sprječava elektromagnetske smetnje, te dodatno poboljšava karakteristike samog prijenosnog medija.

Prva uporaba bakrene parice bila je prvenstveno namijenjena za prijenos govora (kategorija Cat 1, 4 kHz). Kasnije je postala pogodna i za prijenos podataka i to zbog karakteristika kao što je niska cijena, mali volumen i visoka fleksibilnost. Za prijenos podataka u današnjim lokalnim mrežama koriste se UTP (engl. Unshielded Twisted Pair) kabeli kategorije 5e (Cat 5e), 6 (Cat 6) i kategorije 7 (Cat 7), [4], [10]. Tablica 1., na str. 12., prikazuje kategoriju UTP (engl. Unshielded Twisted Pair) parica.

Tablica 1.: Kategorije Unshielded Twisted Pair (UTP) parica. Podatci od [10].

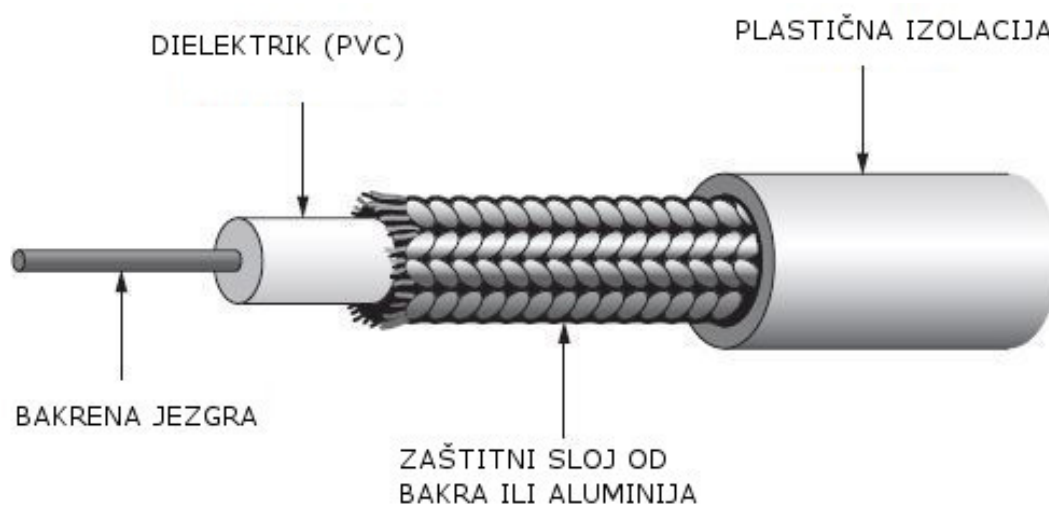
Kategorija (Cat)	Promjer bakrene jezgre (AWG)	Frekvencijsko područje rada (MHz)	Aplikativna primjena
Cat 1	19 - 28	<1	Analogni prijenos glasa (4 kHz)
Cat 2	24	1	4 Mbit/s LAN
Cat 3	24	16	10Base-T LAN
Cat 4	24	20	16 Mbit/s LAN
Cat 5	24	100	10/100Base-T LAN
Cat 5e	24	100+	10/100Base-T LAN, 155 Mbit/s ATM
Cat 6	23	250	1000Base-T (GbE)
Cat 7	23	600	10GbE

Prema Horaku [10], AWG (engl. American Wire Gauge) je standardno mjerilo u Sjedinjenim Američkim Državama koji se upotrebljava kao standardna mjera prijenosnih medija u telekomunikacijama, a pokazuje promjer jezgre prijenosnih medija putem koje putuje informacija. Što je veći promjer jezgre, to je manji otpor i signal putuje lakše na većim udaljenostima i bolje su karakteristike prijenosnog medija. Upređena parica u telekomunikacijama najčešće je iznosa od 19 do 28 AWG. Porastom mjerila AWG smanjuje se jezgra prijenosnog medija i obratno, tj. smanjenjem mjerila AWG jezgra prijenosnog medija postaje deblja. Kao primjer, 24 AWG predstavlja promjer jezgre od 0,511 mm. Osim prijenosa glasa (4 kHz), bakrena parica koristi se u LAN mrežama i u lokalnim petljama za povezivanje korisnika s jezgrenom mrežom (ADSL).

Najveća prednost bakrene parice su vrlo niski troškovi, a najveća mana je udaljenost, tj. duljina linije kojom se spaja korisnička oprema s lokalnom centralom, a koja je ograničena gubitkom snage signala. Zadovoljavajuća kvaliteta usluga može se isporučiti na udaljenosti do 5,5 km od lokalne centrale, [3], [4].

3.2. Koaksijalni kabel

Koaksijalni kabel sastoji se od bakrene jezgre (bakrene žice) u sredini oko koje se nalazi izolacija (dielektrik). Bakrena žica u sredini kabela prenosi elektromagnetske signale. Zatim, sastoji se od upletenog metala (aluminij ili bakar) koji štiti od elektromagnetskih smetnji, tako što upija nepoželjne vanjske signale i omogućuje podacima da nesmetano putuju bakrenom jezgrom. Plastična izolacija štiti cijeli kabel od nepoželjnih oštećenja (vidljivo na slici 8.).



Slika 8.: Struktura koaksijalnog prijenosnog medija. Preuzeto od [11].

Struktura koaksijalnog kabela dosta je deblja od upredene parice, tj. bakrena jezgra koaksijalnog kabela većeg je promjera (20 AWG) od bakrene jezgre upredene parice (24 AWG), pa prema tome omogućuje veće brzine prijenosa podataka na većim udaljenostima, jer je konstrukcija kabela načinjena tako da pruža što manji otpor signalima visokih frekvencija. Složenija struktura koaksijalnog kabela donosi i veći trošak u cijeni prema usporedbi s upredenom paricom. Koristi se i u Ethernet mrežama za lokalno povezivanje mreže, ali su zbog svoje krutosti i debljine dosta prostrani i zbog toga stvaraju određene probleme pri manipulaciji u postupku kabliranja mreže. Kapacitet kabela ovisi o samoj strukturi i načinu izrade prijenosnog medija, kao što je npr. debljina bakrene jezgre, svojstvo dielektrika, duljina kabla itd., ali zbog karakteristika kao što je velika brzina prijenosa podataka, dosta često se koristi za prijenos video aplikacija i digitalnih podataka, [10].

Najraširenija upotreba koaksijalnog prijenosnog medija koristi se upravo u kablskoj televiziji CATV (engl. Cable TV), tj. njegova najveća upotreba upravo je u klasičnoj TV distribuciji usluga. Neki od najčešće korištenih tipova koaksijalnog kabela su RG-6 (impedancija $75\ \Omega$) koji se koristi za video i TV instalacije, tj. prvenstveno se koristi u analognim prijenosnim sustavima, te RG-58 (impedancija $50\ \Omega$) koji se koristi za Ethernet mrežu, tj. koristi se u digitalnim prijenosnim sustavima. U radiokomunikacijama standard od $50\ \Omega$ najčešće se koristi kod odašiljačke opreme (odašiljač TV signala, repetitori mobilnog signala i sl.), tj. koristi se kada je signal potrebno prenijeti na velike udaljenosti (snaga signala je kritični faktor), a standard od $75\ \Omega$ koristi se kod prijemne opreme (TV prijemnik, satelitski prijemnik i sl.), tj. koristi se kada se želi postići što manje prigušenje signala (atenuacija je kritični faktor). U usporedbi s upredenom paricom, koaksijalni kabel pokazuje dosta bolja svojstva u pogledu elektromagnetskih zračenja. Koristi frekvencijski pojas širine od 5 MHz do 2,2 GHz, te podržava brzine prijenosa podataka do 1 Gbit/s. Nedostaci se očituju u maloj savitljivosti, povećoj dimenziji i većoj cijeni u usporedbi s bakrenom paricom, [4], [10], [11].

Postoje različite inačice standarda Ethernet, a naziv standarda ovisi o vrsti korištenja prijenosnog medija i prijenosnoj brzini. Za označavanje standarda fizičkog sloja, odbor IEEE (engl. Institute of Electrical & Electronics Engineers) 802.3 primijenio je pravilo tako što je na početku inačice standarda naznačena prijenosna brzina. Npr. 10BASE5 znači 10 Mbit/s prijenosnu brzinu, a riječ BASE dolazi od engleske riječi baseband ili širokopojasni, npr. 10BROAD36, pri čemu BROAD dolazi od engleske riječi broadband. Na kraju naziva je broj koji označava maksimalnu duljinu prijenosnog medija koja je izražena u stotinama metara ili je na kraju naziva naznačeno slovo koje označava vrstu prijenosnog medija. Na fizičkom sloju Ethernet LAN – ova (engl. Local Area Network) sljedeći standardi predstavljaju, [4]:

- 10BASE5 – specificira korištenje debelog koaksijalnog kabela duljine prijenosnog medija do 500 m.
- 10BASE2 – specificira korištenje tankog koaksijalnog kabela duljine prijenosnog medija do 200 m.
- 10BASE-T – specificira korištenje dviju parica UTP kategorije 5, duljine prijenosnog medija do 100 m.
- 10BASE-FL – specificira uporabu dviju višemodnih optičkih niti MMF (engl. Multimode Fiber).

- 1000BASE-LX – specificira uporabu dviju višemodnih ili jednomodne (engl. Singlemode Fiber – SMF) optičke niti.

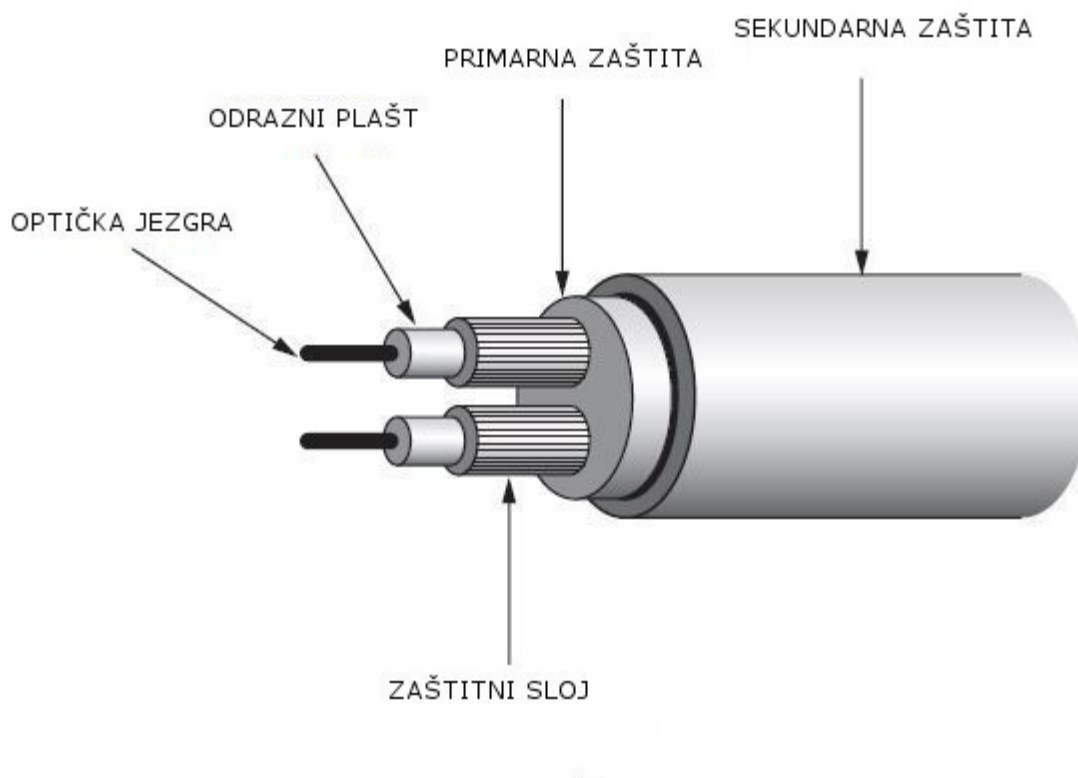
3.3. Optičko vlakno

Prema usporedbi s bakrenom paricom i koaksijalnim kabelom, svjetlovodni prijenosni medij zbog većih frekvencija rada predstavlja najkvalitetniji žičani prijenosni medij koji se koristi za velike količine prijenosa podataka i to na velikim udaljenostima. Otporan je na električnu interferenciju i manjih je dimenzija u usporedbi s ostalim žičanim prijenosnim medijima. Neke od glavnih karakteristika optičkih vlakana su, [3], [12]:

- Veliki prijenosni kapacitet (teorijska širina pojasa optičkog vlakna je oko 300 THz).
- Nizak BER (engl. Bit Error Rate), tj. optičko vlakno ima manji stupanj pogreške bita od drugih medija.
- Mogućnost savladavanja velikih udaljenosti zbog malog slabljenja signala.
- Optičko vlakno otporno je na elektromagnetska zračenja iz okoline i ne ponaša se poput antene.
- Nema električnih spojeva, tj. optičko vlakno ne prouzrokuje petlje sa zemljom.
- Jednostavnost nadogradnje kapaciteta linka. Isto vlakno može prenositi signale kapaciteta nekoliko Mbit/s do nekoliko Tbit/s.
- Visoka sigurnost, tj. nemoguće je prisluškivati signal u svjetlovodu bez prekida istog, a i vrlo je teško ubaciti lažni signal u vlakno.
- Problemi sa spajanjem optičkih vlakana, tj. konektori su osjetljivi na prljavštinu i za rezanje i spajanje vlakana potrebna je posebna oprema i stručno osoblje.
- Optičko vlakno osjetljivo je na savijanje i vanjske mehaničke utjecaje.

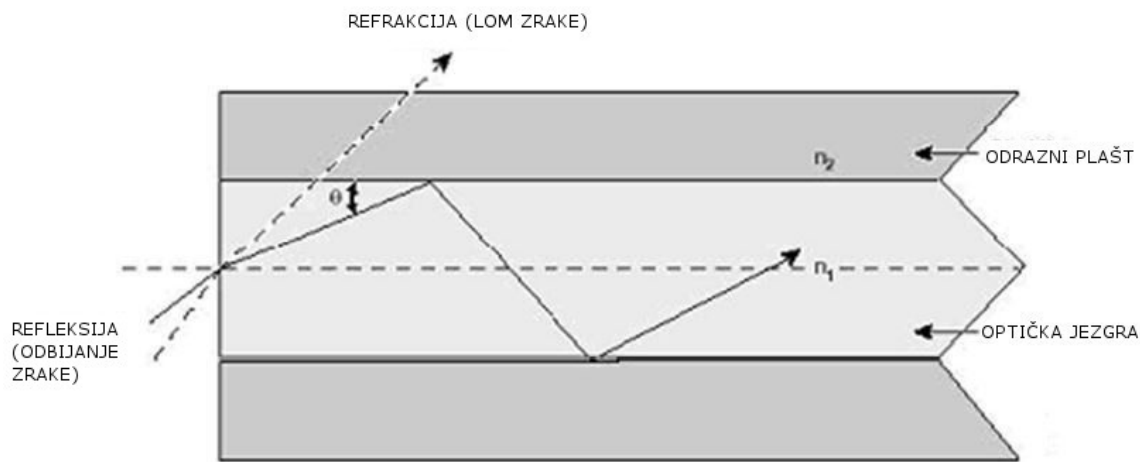
Svjetlovodno (optičko) vlakno je prijenosni medij koji se koristi za prijenos podataka, a sastoji se od staklene jezgre obložene zaštitnim omotačem. Osnovni dijelovi svjetlovodnog prijenosnog medija su jezgra, odrazni plašt, zaštitni sloj, primarna zaštita i sekundarna zaštita. Jezgra služi za prijenos svjetlosnog signala, a izvedena je od stakla. Zaštitni sloj drži na okupu veći broj svjetlosnih niti koju čine jezgra i plašt. Odrazni plašt služi za odbijanje svjetlosne zrake u jezgru, a sastoji se od tankog sloja stakla. Primarna zaštita

(dielektrik) služi za mehaničku zaštitu plašta i jezgre, te sekundarna zaštita koja predstavlja dodatnu zaštitu optičkog vlakna (vidljivo na slici 9.), [10], [11], [12].



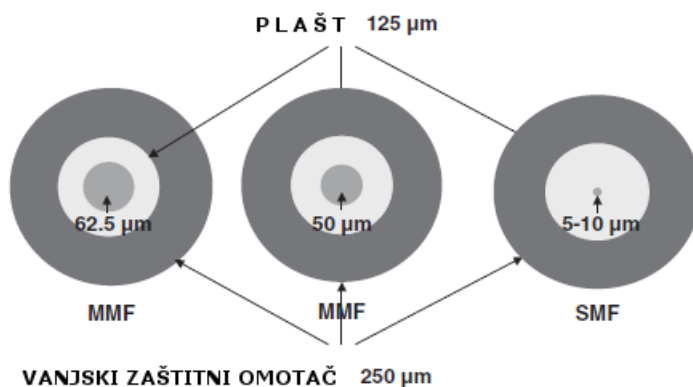
Slika 9.: Osnovna struktura optičkog prijenosnog medija. Preuzeto od [11].

Putovanje svjetlosne zrake kroz optičko vlakno objašnjava se pomoću fenomena potpune unutrašnje refleksije. Takav efekt postiže se refleksijom (zraka se odbija) ili refrakcijom (zraka se prelama kroz medij), a svi ti fenomeni ovise o kutu upada zrake u vlakno. Refleksija (odbijanje svjetlosne zrake) ili refrakcija (lom svjetlosne zrake) su pojave do kojih dolazi zbog različite optičke gustoće jezgre i plašta optičkog vlakna. Do potpune unutrašnje refleksije dolazi kada svjetlosna zraka prelazi iz optički gušćeg u optički rjeđe sredstvo i kada je kut upada svjetlosne zrake manji od kritičnog kuta (kritični kut je maksimalni kut upada na kojem se zraka prestaje prelamati i počinje se potpuno reflektirati), [12]. Slika 10., na str. 17., prikazuje fenomen potpune unutrašnje refleksije unutar jezgre vlakna, gdje jezgra ima veći indeks refrakcije od plašta i dopušta zraci koja dolazi na površinu pod kutom manjim od kritičnog da se potpuno reflektira, a dok se druga zraka lomi i dolazi na površinu zbog upada kuta većeg od kritičnog.



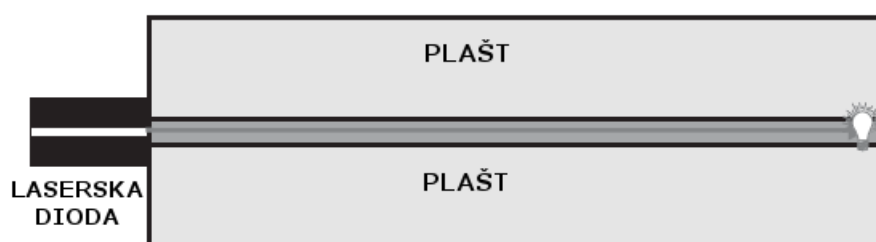
Slika 10.: Potpuna unutrašnja refleksija unutar jezgre vlakna. Preuzeto od [12].

Optički kabel može se podijeliti na jednomodna svjetlovodna vlakna i na višemodna svjetlovodna vlakna. Jedan mod znači da se kroz jezgru prostire samo jedna svjetlosna zraka, a višemodni da se kroz jezgru prostire više svjetlosnih zraka. Od svih žičanih prijenosnih medija koji se danas koriste u telekomunikacijama, svjetlovodni kabel je po svojim karakteristikama na prvom mjestu, a najveća mana je cijena koja je potrebna za instalaciju optičke mreže. Višemodna svjetlovodna vlakna (MMF – Multimode Fiber) imaju promjer jezgri 50 μm i 62,5 μm , a jednomodna (SMF – Singlemode Fiber) 5 do 10 μm . Kod višemodnih i jednomodnih vlakna jednaki su iznosi za plašt koji je promjera 125 μm i vanjski zaštitni omotač koji je promjera 250 μm , [10], [11], [12]. Na slici 11., prikazana je usporedba dimenzija presjeka jednomodnog i dva višemodna vlakana.



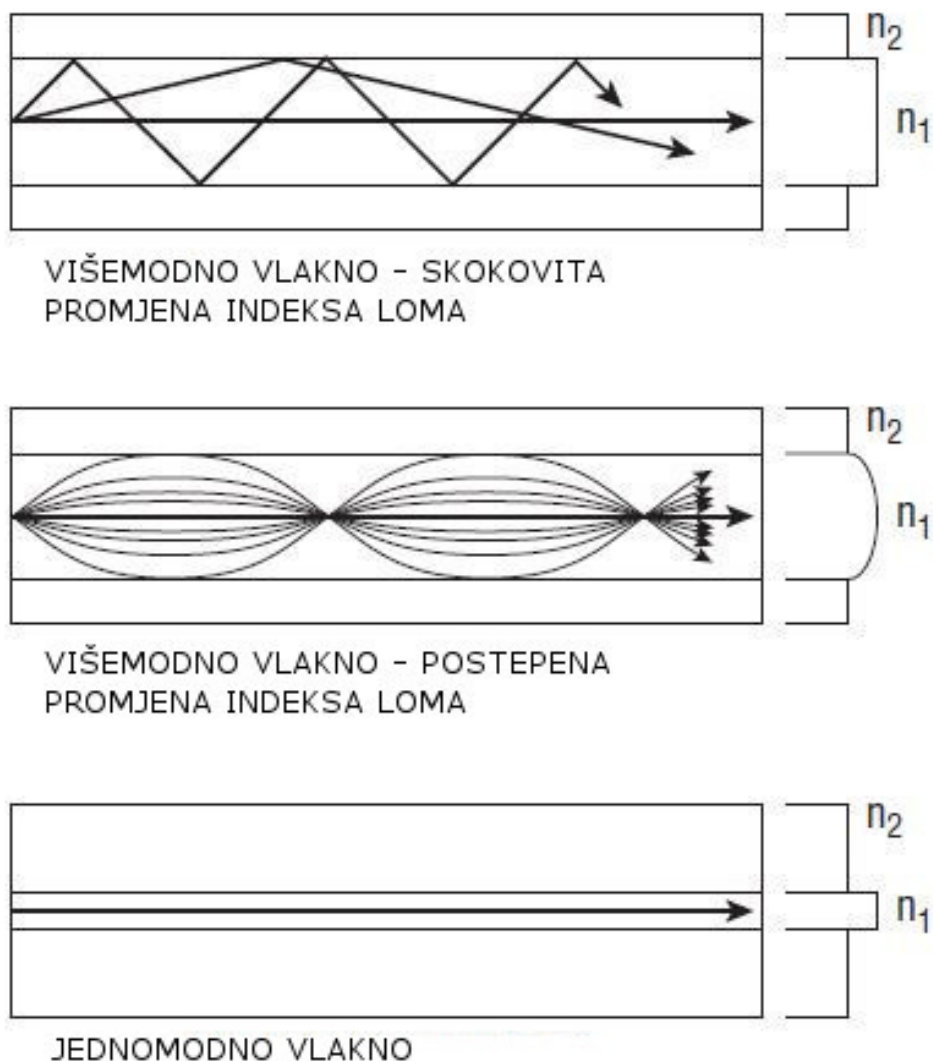
Slika 11.: Presjek jednomodnog i višemodnih vlakana. Preuzeto od [10].

Jednomodna svjetlovodna vlakna imaju veliki propusni pojas i vrlo malo slabljenje signala po dužini, pa se takva vrsta optičkih medija najčešće upotrebljava i to u vrlo zahtjevnim prijenosnim sustavima. Imaju manji promjer jezgre u usporedbi s višemodnim vlaknima, tako da istovremeno samo jedna svjetlosna zraka može ući u jezgru. Ulazna zraka svjetlosti ne rasipa se u više modova zbog malog promjera jezgre, tj. nema više odbijenih svjetlosnih zraka pa svi svjetlosni impulsi stižu primatelju u isto vrijeme. Prikladna su u mrežnim infrastrukturama za prijenos podataka na velikim udaljenostima. Kao izvor svjetlosti koriste se laserske diode ili svjetlosne LED diode (vidljivo na slici 12.), [10], [11], [12].



Slika 12.: Širenje svjetlosne zrake u jednomodnom vlaknu. Preuzeto od [10].

Kod višemodnih vlakana svjetlost koja ulazi u jezgru pod nekim kutom odbija se od površine i rasipa se na više zraka. Premda su odaslane u istom trenutku do primatelja stižu u različito vrijeme zbog različite duljine puteva. Ta pojava razlike u vremenu koje je potrebno modovima da stignu na odredište naziva se modalna disperzija. Zbog jačeg gušenja signala, višemodna vlakna se koriste za prijenos podataka na manjim udaljenostima. Postoje dvije vrste višemodnih vlakana, a to su višemodna vlakna sa skokovitom promjenom indeksa loma, gdje dolazi do faznog pomaka između signala koji putuju različitim modovima, a ono nastupa na spoju jezgre i plašta, te postoje višemodna vlakna s postepenom promjenom indeksa loma, gdje se postiže učinak približnog istovremenog dolazaka svih zraka na odredište i tako se smanjuje negativni učinak modalne disperzije, [10], [11], [12]. Slika 13., str. 19., prikazuje širenje svjetlosne zrake kod različitih izvedba optičkih prijenosnih medija.



Slika 13.: Prikaz širenja svjetlosne zrake kod različitih izvedba optičkih vlakana. Preuzeto od [11].

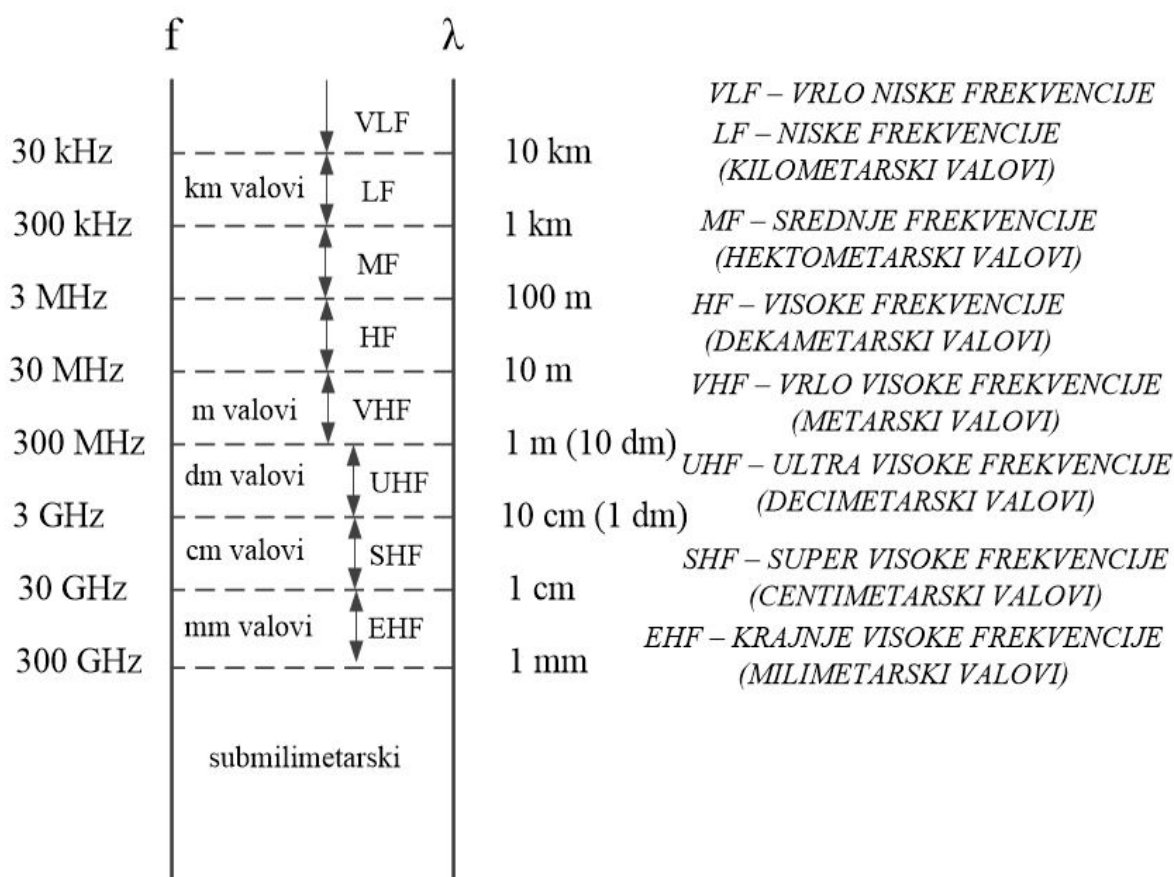
3.4. Elektromagnetski valovi (slobodni prostor)

Vrlo koristan način za prijenos informacija na područjima gdje nije moguće ili nije isplativo realizirati žičanu infrastrukturu, koristi se bežični prijenos informacija i to prvenstveno u ruralnim područjima. Prema Muštri [13], informacija se prenosi pomoću elektromagnetskih valova putem slobodnog prostora, tj. putem zraka. Informacija se upisuje u elektromagnetski val. Spektr elektromagnetskih valova obuhvaća radiovalove, mikrovalove, infracrveno zračenje, vidljivi dio spektra, ultraljubičasto zračenje, rendgensko zračenje (x – zrake) i gama zračenje (kozmičko zračenje). Za komunikaciju pomoću npr. radiovalova koristi se samo mali dio tog iznimno širokog spektra. U komunikacijske svrhe moguće je

koristiti i elektromagnetske valove više frekvencije od radiovalova koji se nazivaju mikrovalovi. Primjeri sustava koji koriste radiovalove i mikrovalove za prijenos informacije su:

- AM i FM radio.
- Zemaljsko televizijsko odašiljanje (analogno i digitalno).
- Profesionalni mobilni prijemnici TETRA (engl. Terrestrial Trunked Radio).
- GPS (engl. Global Positioning System).
- 3G, 4G mobilne mreže.
- WLAN (engl. Wireless Local Area Network).

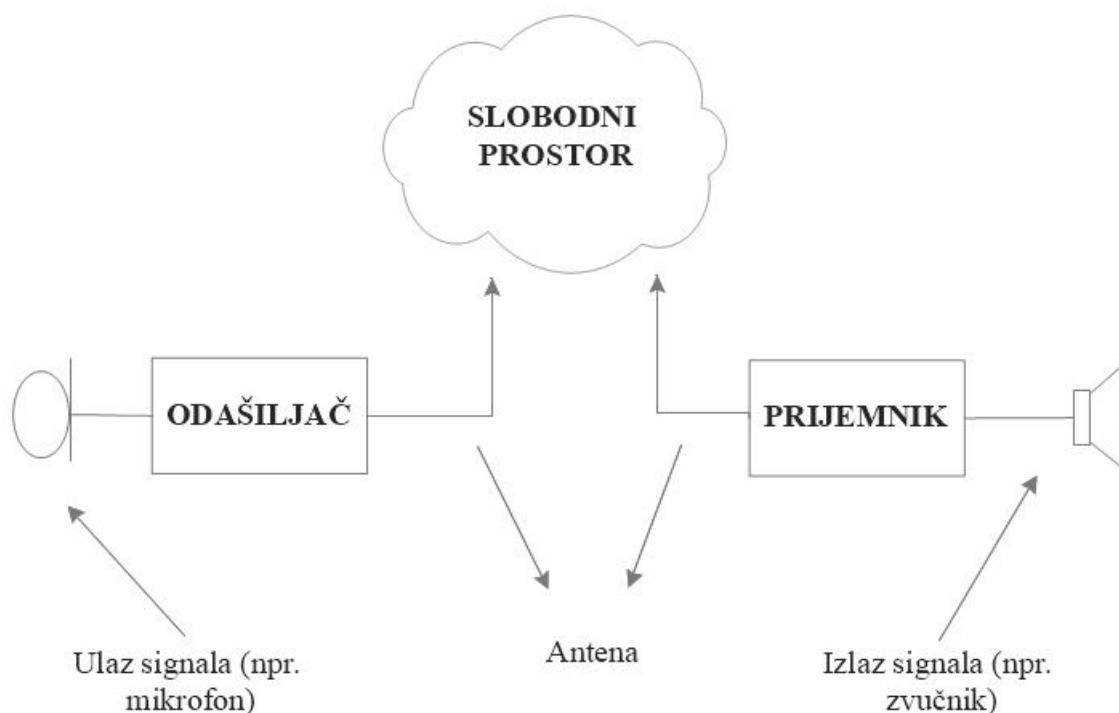
Na slici 14., prikazan je radiofrekvencijski spektar i primjeri valnih duljina za svaku frekvenciju, te je vidljivo kako se porastom frekvencije valna duljina smanjuje, a smanjivanjem frekvencije, valna duljina elektromagnetskog vala raste.



Slika 14.: Radiofrekvencijski spektar. Podatci od [13].

Pristupna mreža koja je realizirana bežično (engl. wireless) omogućuje komunikaciju u pokretu (npr. radijski kanal u pokretnoj mreži), gdje je pristup u pokretnim mrežama (mreže koje omogućavaju pokretljivost korisnika) riješen radijskim signalom kod kojih je signal nosioc informacija, a zrak (prostor) prijenosni medij. Lokalna petlja (veza koja povezuje korisničku opremu s lokalnom centralom) kod bežičnih pristupnih tehnologija predstavljena je bežičnom lokalnom petljom (WLL – engl. Wireless Local Loop), [2], [4].

U radiokomunikacijskom sustavu, komunikacija između izvora i odredišta ostvaruje se pomoću odašiljača i prijemnika, te pomoću prijenosnog medija (elektromagnetski val) u zraku, tj. slobodnom prostoru. Općeniti komunikacijski sustav vrlo je sličan radiokomunikacijskom sustavu, a razlika se očituje u prijenosnom mediju koji u tom slučaju ne mora biti slobodni prostor. Radiokomunikacijskim sustavom prenosi se informacija od jedne do druge točke u prostoru pomoću radiovalova, [13]. Na slici 15., prikazan je radiokomunikacijski sustav koji se sastoji od odašiljača, prijenosnog medija (slobodni prostor) i prijemnika.

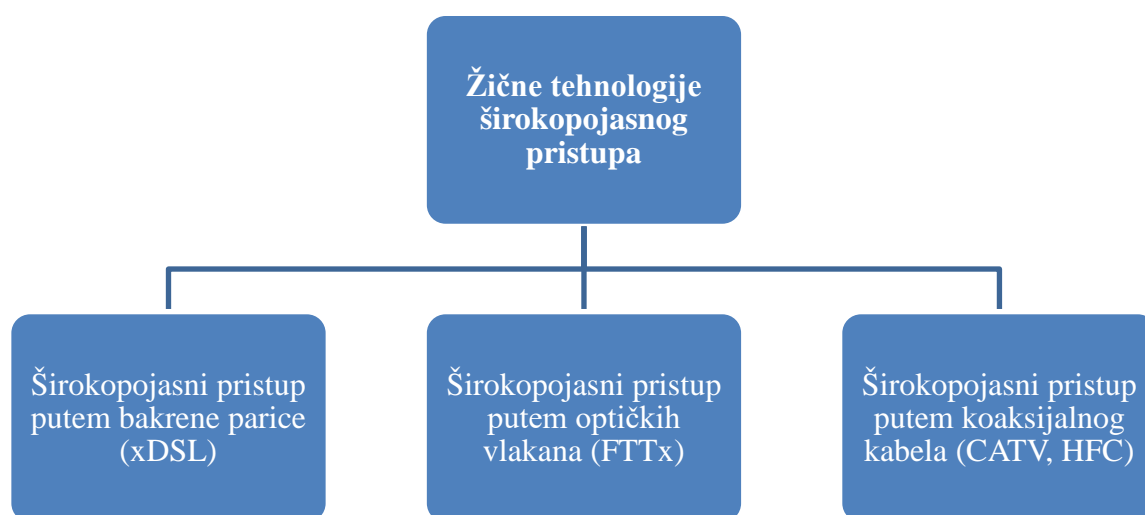


Slika 15.: Radiokomunikacijski sustav. Podatci od [13].

4. ŽIČNE TEHNOLOGIJE ŠIROKOPOJASNOG PRISTUPA

U ovom poglavlju bit će objašnjene tehnologije širokopojasnog pristupa koja se temelje na žičnim prijenosnim medijima. Do sada je u prethodnim poglavljima objašnjeno što je to pristupna mreža, koja je njezina glavna zadaća, te su navedene i objašnjene vrste prijenosnih medija koje se koriste za prijenos informacija od i prema krajnjim korisnicima.

Na slici 16., prikazana je podjela žičnih širokopojasnih pristupnih mreža koja omogućuju krajnjim korisnicima spajanje na jezgrenu mrežu. Topologija od točke prema većem broju točaka koju upotrebljava kabelaška žična pristupna tehnologija (Cable TV), zatim digitalna pretplatnička linija (xDSL) gdje svaki pretplatnik ima svoju vlastitu pretplatničku liniju, tj. arhitektura od točke do točke i optička pristupna tehnologija (FTTx) koja koristi obje vrste pristupa mreža, tj. može se realizirati kao pristupna tehnologija od točke prema većem broju točaka (engl. point-to-multipoint) ili od točke do točke (engl. point-to-point) gdje svaki korisnik posjeduje svoju vlastitu optičku nit, [4].



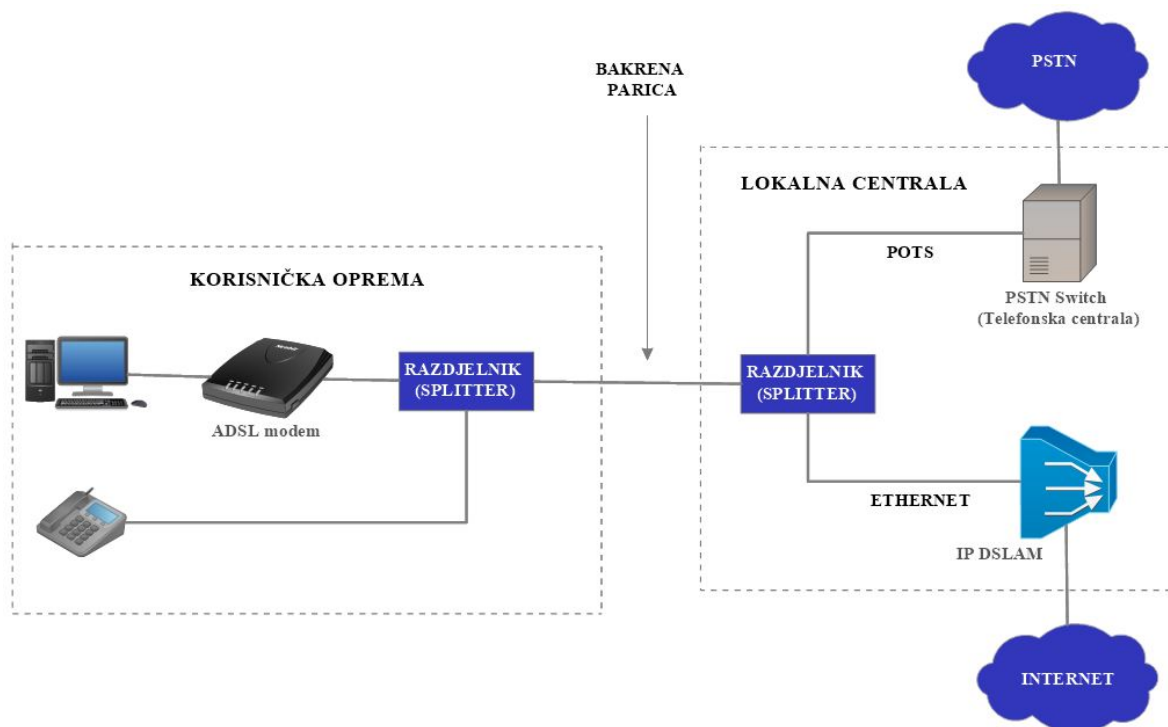
Slika 16.: Podjela žičnih širokopojasnih pristupnih mreža. Podatci od [4].

4.1. Širokopojasni pristup putem bakrene parice

Više od 95% lokalnih petlji sastoji se od jedne upredene parice koja podržava tradicionalnu fiksnu analognu govornu telefonsku uslugu (engl. Plain Old Telephone Service, POTS). S razvojem Interneta pojavila se potreba za korištenjem drugih usluga osim tradicionalnog POTS-a. Potreba za korištenjem drugih usluga u pristupnom dijelu mreže dovela je do razvoja širokopojasne digitalne mreže integriranih usluga (engl. Broadband Integrated Services Digital Network, B-ISDN). Brzina prijenosa podataka od 2 Mbit/s predstavlja granicu između uskopojasne i širokopojasne komunikacije (u SAD-u je granica postavljena na 1,5 Mbit/s), a kasnije je ta granica pomaknuta prema nižoj brzini od 144 kbit/s koliko iznosi podatkovna brzina osnovnog pristupa ISDN-u (BRA)⁵. Krajnji korisnici zahtijevaju što veće brzine, a pružatelji usluga traže što jeftiniji način u ostvarenju tih zahtjeva. Takva situacija u cilju ekonomske uštede novca sa strane operatora zahtijeva korištenje postojeće infrastrukture, pa su pružatelji usluga odlučili koristiti postojeću POTS arhitekturu telefonske mreže realizirane bakrenim paricama, [2], [10].

Jedan od najčešćih alternativnih načina pristupa jezgrenoj mreži u vrijeme pojave digitalnih pretplatničkih linija (engl. Digital Subscriber Line, DSL) bio je pristup POTS kanalima s pomoću modema (engl. voice-band modem, dial-up modem) s brzinama prijenosa 33.600 bit/s ili najviše 56 kbit/s u smjeru prema korisniku (engl. downlink). Generički, tj. zajednički naziv xDSL često se rabi kako bi se njime označile sve DSL tehnologije, a kojima je osnovni cilj ostvarenje korisničkih zahtjeva za sve većim brzinama prijenosa podataka. Sve DSL tehnologije koristeći napredne modulacijske tehnike iskorištavaju postojeći prijenosni spektar u bakrenim telefonskim linijama za prijenos podataka velikih brzina. Razlika između DSL tehnologija očituje se u njihovim brzinama prijenosa, dozvoljenim udaljenostima i vrsti usluge koju podržavaju, [2], [4]. Na str. 24., slika 17., prikazana je arhitektura ADSL pristupne mreže.

⁵ Osnovni pristup (BRA) predstavlja brzinu prijenosa podataka 144 kbit/s u N-ISDN mreži (engl. Narrowband ISDN), a namijenjen je kućnim korisnicima

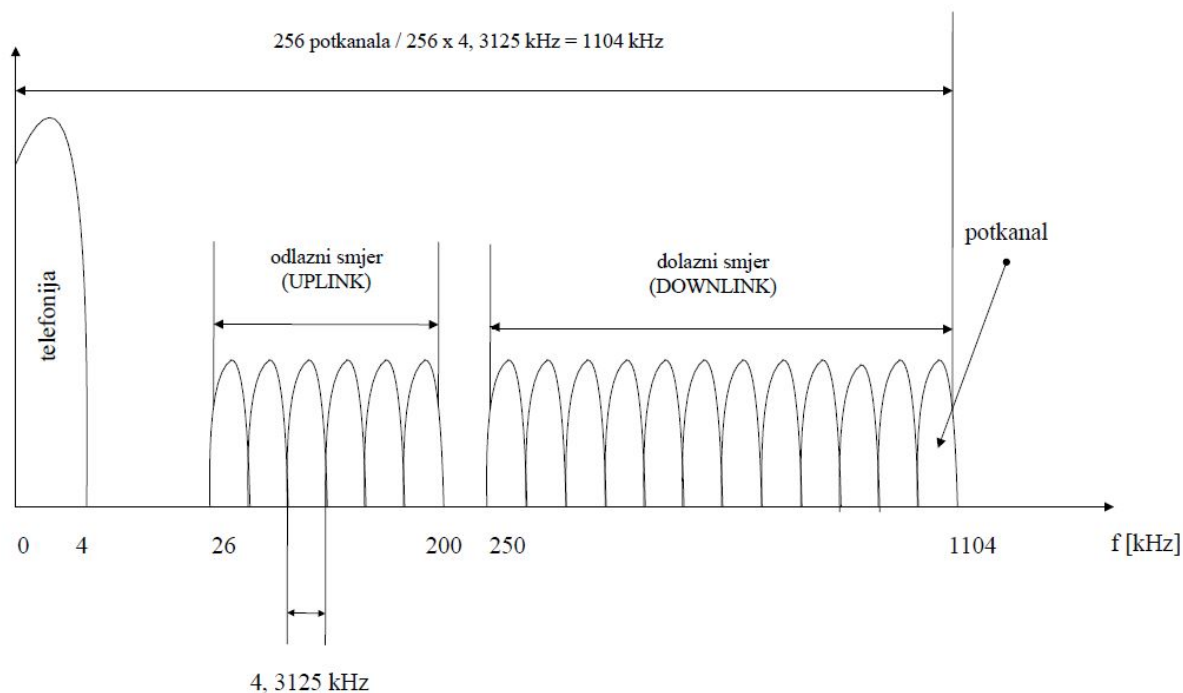


Slika 17.: Arhitektura ADSL pristupne mreže. Podatci od [14], [15].

Slika 17., prikazuje osnovnu arhitekturu ADSL (engl. Asymmetric DSL) pristupne tehnologije koja omogućuje krajnjim korisnicima pružanje usluge brzog pristupa Internetu, a sastoji se od korisničke opreme u kojoj se nalazi modem/ruter, razdjelnik (splitter), računalo i telefon. Korisničko računalo je putem Ethernet sučelja spojen s ADSL modemom. Korisnička oprema povezana je s lokalnom centralom davatelja internetske usluge u kojem se nalazi DSLAM multipleksor, PSTN preklopnik i razdjelnik koji odvaja analogni govorni signal od podatkovnog prometa. U odlaznom smjeru (engl. uplink) razdjelnik će spojiti 4 kHz analogni POTS signal s ADSL signalom (25 kHz do 1,1 MHz) te će takav signal odaslati na paricu prema operatoru. Na drugom kraju mreže, tj. kod lokalne centrale nalazi se DSL multipleksor (engl. Digital Subscriber Line Access Multiplexer, DSLAM) na koji se izravno povezuje veći broj korisnika na jezgrenu mrežu putem velikih brzina prijenosa podataka. Multipleksira sav promet od mnogobrojnih ADSL korisnika na brzu jezgrenu mrežu (Internet). Složeni signal odaslan od strane korisnika na strani operatora prvo će stići na razdjelnik koji će razdvojiti analogni POTS signal, te će ju poslati prema PSTN mreži. ADSL podatkovni signal razdjelnik će propustiti prema DSLAM čvoru gdje se sav podatkovni promet agregira, tj. multipleksira se veći broj ADSL linkova na brzu vezu prema Internetu. Maksimalna moguća brzina

prijenosa podataka ovisit će prvenstveno o duljini parice od korisničkog ADSL modema do DSLAM čvora, [14], [15].

Bakrena parica koja se koristila za prijenos govora u klasičnoj telefoniji u pojasu od 300 do 3400 Hz je posebnim naprednim modulacijskim tehnikama eksploatirana u širem frekvencijskom pojasu gdje se na takav način koristi u DSL tehnologijama. Korištenje takve stare infrastrukture za vrlo brze usluge, donosi i razne tehničke probleme, prvenstveno tehnička ograničenja u dometu prijenosa podataka. Modulacijska tehnologija koja se koristi u ADSL tehnologiji je DMT (engl. Discrete Multitone) modulacija signala temeljena na frekvencijskom multipleksiranju, gdje se koristi frekvencijski pojas bakrene parice u rasponu od 0 Hz do 1,104 MHz (vidljivo na slici 18.), [4].



Slika 18.: Frekvencijski spektar koji koristi modulacija DMT u ADSL – u. Podatci od [4].

Frekvencijski spektar koji koristi modulacija DMT u ADSL–u podijeljen je u 256 prijenosnih potkanala, a širina frekvencijskog pojasa svakog potkanala iznosi 4,3125 kHz. Svrha potkanala je omogućiti prijenos govornog prometa i prijenos podataka u dolaznom ili u odlaznom smjeru. Unutar svakog potkanala koristi se modulacijska tehnika 64QAM (engl. Quadrature Amplitude Modulation). Odlazni i dolazni smjerovi prenose se tako da se frekvencijski odvajaju (između njih se nalazi zaštitni razmak) kao što je predloženo na slici 18.

Za prijenos korisničke informacije koristi se maksimalno 250 potkanala, a ostali potkanali rezervirani su za druge potrebe ili se uopće ne koriste. Npr., potkanal 64 (275 kHz) rezerviran je za pilotski signal, a potkanali od 1 do 6 rezervirani su za govorni promet. U odlaznom smjeru koristi se maksimalno 32 potkanala (od sedmog potkanala pa naviše), dok se za dolazni smjer može koristiti maksimalno 218 potkanala. Nakon svega navedenog, osnovne prednosti DSL pristupnih tehnologija mogu se opisati sljedećim podacima, [4]:

- Sve DSL tehnologije iskorištavaju raspoloživi prijenosni spektar u bakrenim telefonskim linijama, tj. koriste postojeću infrastrukturu.
- Mogućnost istovremenog prijenosa govornog i podatkovnog prometa.
- Održavanje privatnosti, arhitektura linkova point-to-point (telefonska parica osigurava linkove od točke do točke, pa su podaci vidljivi samo korisniku kojem se šalju).
- Jednostavnost ugradnje (na korisničkoj strani korisnik mora samo priključiti odgovarajuću mrežnu opremu kako bi ostvario govorni i podatkovni promet).

DSL tehnologija dijeli se na asimetrične i simetrične, pri čemu se simetričnost odnosi na prijenosne brzine u dolaznom i odlaznom smjeru prijenosa signala. Dolazni smjer (engl. downstream ili downlink) je onaj smjer od lokalne centrale prema korisničkom području, dok se suprotan smjer prijenosa, tj. prijenos od korisničke opreme do lokalne centrale naziva odlazni smjer (engl. upstream ili uplink). Ako su brzine u oba smjera međusobno jednake, riječ je o simetričnoj DSL tehnologiji (engl. Symmetric DSL, SDSL), ako brzine nisu približno jednake radi se o asimetričnoj DSL tehnologiji (engl. Asymmetric DSL, ADSL). Prema preporukama ITU-T-a (engl. International Telecommunications Union), asimetrične DSL tehnologije su bolje standardizirane u usporedbi sa simetričnim DSL tehnologijama. Kod simetričnih DSL tehnologija ITU-T je standardizirao tehnologije HDSL i SHDSL, [2], [14]. Osnovna podjela DSL tehnologija prikazana je u tablici 2., na str. 27.

Tablica 2.: Osnovna podjela DSL tehnologija. Podatci od [2], [4], [14].

Asimetrične DSL tehnologije	Simetrične DSL tehnologije
ADSL (G.dmt, full-rate), ADSL (G.lite), ADSL over ISDN	IDSL - ISDN over DSL
ADSL2, ADSL2plus	HDSL, HDSL2
VDSL, VDSL2	SDSL (MSDSL)
	VDSL, VDSL2

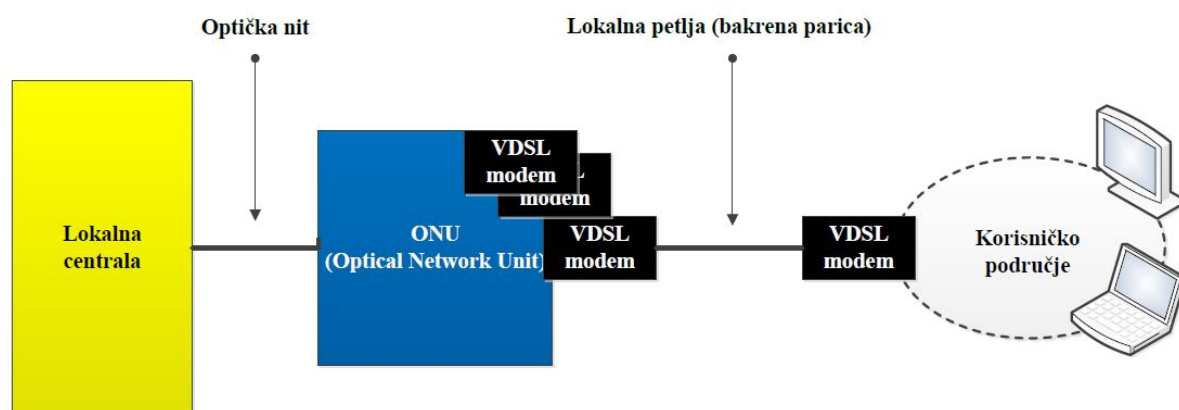
ADSL ima dva standarda, a to su ADSL (G.lite) i ADSL (G.dmt, full-rate). ADSL (G.lite) nema razdjelnika između POTS uređaja (telefon) i G.lite modema, nego koristi mikrofilter koji instalira sam korisnik. Brzina prijenosa podataka ovisi o duljini parice (od centrale do korisnika), zatim karakteristikama POTS uređaja (telefon) i same bakrene parice. Kod ADSL (G.dmt, full-rate) tehnologije zahtijeva se dodatno ožičenje što znatno povećava troškove ugradnje, ali zato omogućuje veće brzine prijenosa podataka zbog rada na većem frekvencijskom pojasu (od 0 kHz do 1104 kHz). Korištenje razdjelnika, uz malu udaljenost od centrale, smatra se jednim od osnovnih nedostataka pristupne tehnologije G.dmt. Obje asimetrične DSL tehnologije koriste modulacijsku tehniku DMT (engl. Discrete Multitone) za multipleksiranje informacija na bakrenu paricu, ali je frekvencijski spektar nešto drugačiji kada se uspoređuju G.lite i G.dmt tehnologije. Standard G.lite ima užu pojas (od 0 kHz do 578 kHz) što utječe na broj kanala namijenjenih za prijenos informacija, pa je prema tome smanjena brzina prijenosa podataka. U odlaznom frekvencijskom pojasu (engl. uplink) kod oba standarda prevladava niži frekvencijski pojas u usporedbi s dolaznim smjerom (engl. downlink), jer je pri nižim frekvencijama izraženo manje gušenje signala. Maksimalan teoretski domet prijenosa od lokalne centrale do korisničke opreme iznosi 5486 m (5,486 km) kod oba standarda, [2], [4].

Znatno povećanje dolazne prijenosne brzine omogućuju asimetrične tehnologije ADSL2 i ADSL2plus. U odnosu na izvornu inačicu ADSL-a, ADSL2 je posebno dizajniran kako bi omogućio što bolje performanse u pružanju usluga krajnjim korisnicima. Bolje performanse postigle su se učinkovitijem korištenju modulacijskog postupka. ADSL2 definira korištenje inverznog ATM multipleksiranja (engl. Inverse Multiplexing for ATM, IMA), a koji je standardizirao ATM Forum. Pomoću takvog koncepta ADSL2 podržava usnopljanje do najviše 32 upredene parice u jednu ADSL2 poveznicu. Takav pristup doveo je do većih prijenosnih brzina, a i do povećanja broja krajnjih korisnika koji su koristili takvu uslugu. ADSL2plus donosi promjene u korištenom frekvencijskom spektru koji više ne iznosi 1,1 MHz nego je gornja granična frekvencija dolaznog kanala u ADSL2plus postavljena na 2,2 MHz. Rezultat toga su veće prijenosne brzine dolaznog prometa, ali na kraćim udaljenostima od otprilike 1500 m lokalne petlje, [2], [15].

Simetrična tehnologija HDSL (engl. High bit rate DSL) razvijena je 1991. godine i standardizirana je od ANSI (engl. American National Standards Institute) u Americi i ETSI (engl. European Telecommunications Standards Institute) u Europi, a svaka od tih dviju standardizacijskih udruga definirala su vlastiti način izvedbe HDSL modema. Domet lokalne petlje je 2,7 do 3,6 km uz parice promjera 0,4 i 0,5 mm, a domet se može povećati na 8 km koristeći HDSL regeneratore signala. Nova generacija HDSL-a, nazvana HDSL2 (engl. High bit rate DSL type 2) specificirana je 1998. godine, a definira prijenosnu tehniku koja omogućuje digitalni prijenos signala velike brzine preko jedne upredene parice. Omogućuje dvosmjerni simetrični prijenos pri brzini prijenosa 2,048 Mbit/s po jednoj parici uz domet od 4 km. Koristi modulacijsku tehniku PAM (engl. Pulse Amplitude Modulation). Sljedeća simetrična DSL tehnologija, nazvana MSDSL (engl. Multirate Symmetric DSL) predstavlja novitet kod DSL tehnologija zato što omogućuje mijenjanje brzine prijenosa, a samim tim i domet prijenosa, ovisno o korisničkim potrebama. Razvijen je iz tehnologije HDSL2, koja kao i MSDSL, pri prijenosu koristi jednu paricu. Omogućuje istovremeno korištenje govornog i podatkovnog prometa, te čak i videokonferenciju MPEG2 (engl. Moving Picture Expert Group 2) formata, [4].

U područjima gdje postoje zahtjevniji korisnici gdje je potrebno omogućiti istodoban prijenos govorne telefonije, interaktivnog videa i brzih podatkovnih usluga, operatori kao najekonomičnije rješenje odabiru kombinaciju optičkih niti i upredenih parica koji čine VDSL tehnologiju. VDSL (engl. Very high bit rate DSL) je sljedeća aktualna generacija DSL

tehnologija koja podržava najveće brzine prijenosa od svih DSL tehnologija na manjim udaljenostima. Velike brzine na parici mogu se postići samo na vrlo kratkim udaljenostima, pa se VDSL tehnologija primjenjuje samo u pristupnim mrežama s optikom dovedenom vrlo blizu korisniku. Optička mrežna jedinica ONU (engl. Optical Network Unit) nalazi se u centrali (za korisnike koji se nalaze u blizini centrale), u udaljenom pretplatničkom stupnju, u uličnom ormariću ili se može nalaziti u zgradi. Osnovna arhitektura VDSL tehnologije koja podržava istovremeni prijenos govora, podataka i videa prikazana je na slici 19., [2], [4].



Slika 19.: Osnovna arhitektura VDSL pristupne tehnologije. Podatci od [2].

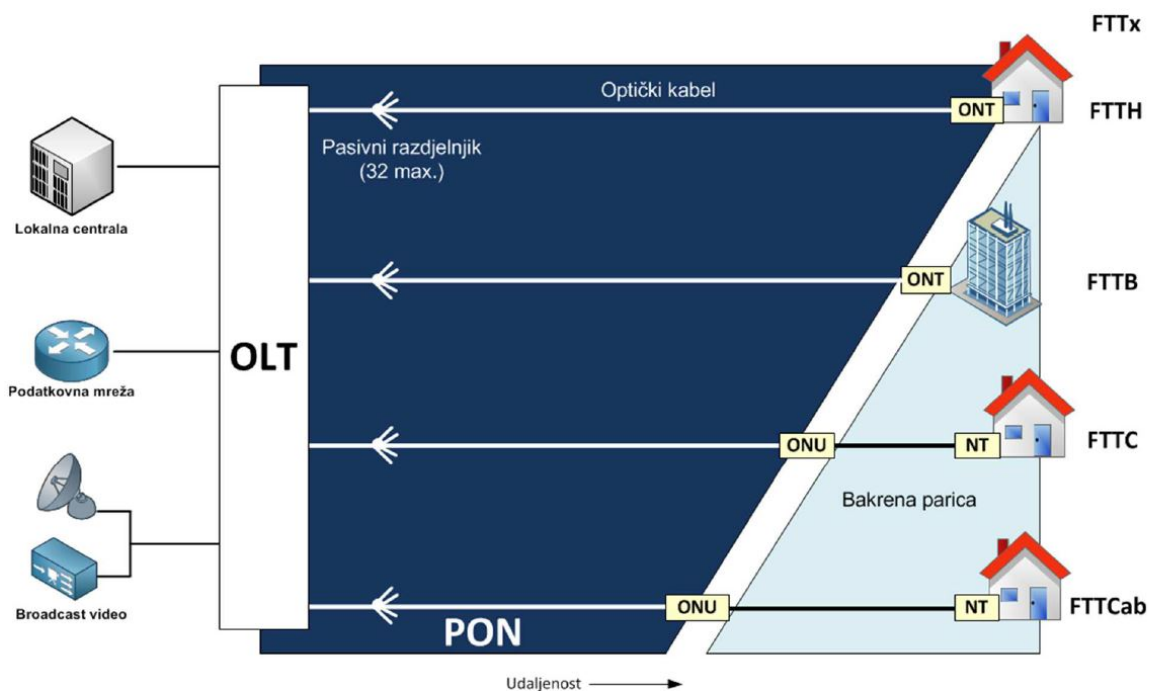
Na slici 19., vidljiv je koncept arhitekture mreže koji se naziva FTTN (engl. Fiber to the Neighbourhood), a koji je omogućen upravo dolaskom VDSL tehnologije. Takvu mrežu čini kombinacija optičkih niti koja povezuju lokalnu centralu s optičkim mrežnim jedinicama (engl. Optical Network Unit, ONU) i upredenih parica koja povezuju krajnje korisnike s optičkim mrežnim jedinicama ONU. Na oba kraja mreže instalirani su VDSL modemi. VDSL pristupna tehnologija može se realizirati tako da podržava simetričan i asimetričan prijenos podataka, a frekvencijsko područje rada VDSL-a iznosi do 12 MHz. Najveća mana VDSL-a očituje se upravo u smanjenom dometu prijenosu koji iznosi do 900 m, a upravo takva značajka najviše predstavlja DSL tehnologiju jer je nemoguće nekom DSL tehnologijom istodobno ostvariti i maksimalnu brzinu i maksimalan domet, [2]. U tablici 3., na str. 30., prikazana je usporedba prijenosnih brzina DSL tehnologija.

Tablica 3.: Usporedba prijenosnih brzina DSL tehnologija. Podatci od [2], [4].

xDSL	Maksimalna dolazna brzina	Maksimalna odlazna brzina
ADSL (G.dmt, full-rate)	8 Mbit/s	640 kbit/s
ADSL (G.lite)	1,5 Mbit/s	512 kbit/s
ADSL2	12 Mbit/s	1 Mbit/s
ADSL2plus	25 Mbit/s	1 Mbit/s
HDSL	1,168 Mbit/s	1,168 Mbit/s
HDSL2	2,048 Mbit/s	2,048 Mbit/s
SDSL (MSDSL)	2,320 Mbit/s	2,320 Mbit/s
VDSL	56 Mbit/s	13 Mbit/s

4.2. Širokopojasni pristup putem optičkih vlakana

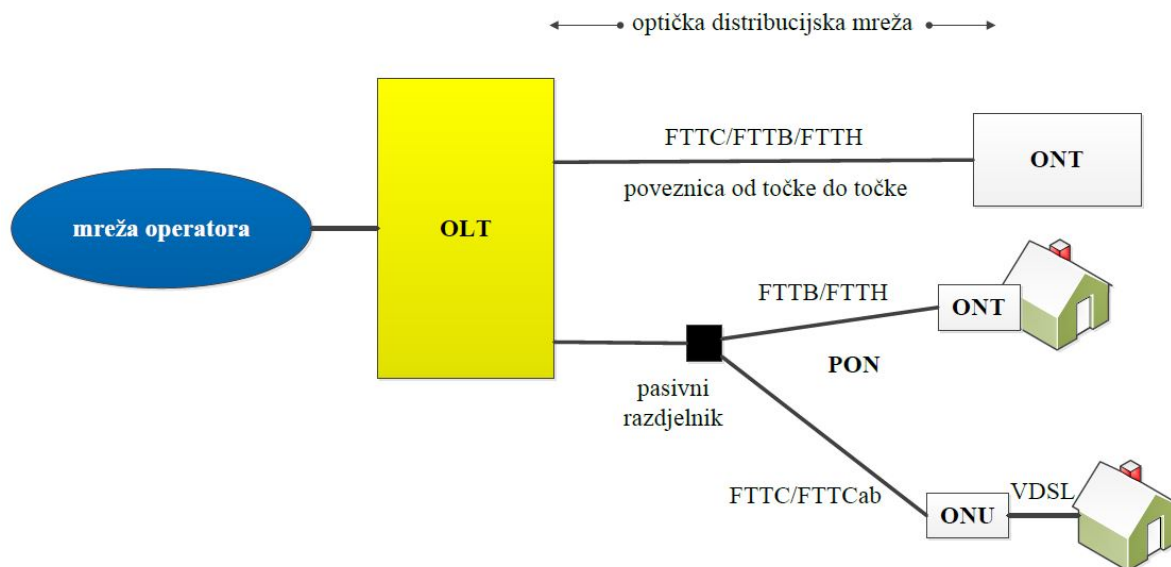
Najkvalitetniju varijantu širokopojasnog pristupa predstavlja pristup optičkim vlaknima (FTTx) jer omogućava postizanje velikih brzina prijenosa i dometa prijenosa. Mana takve vrste pristupne tehnologije je cijena koja je potrebna za samu infrastrukturu mreže, a time dolazi i do povećanja cijena usluga. Pristup mreži pomoću optičkih niti skraćeno se naziva FTTx (engl. Fiber to the x) gdje x predstavlja točku do koje je provučena optika. Pa tako postoje četiri različita tipa pristupa mreži pomoću optike, a to su optička nit do kuće – Fiber to the Home (FTTH), optička nit do zgrade – Fiber to the Building (FTTB), optička nit do pločnika – Fiber to the Curb (FTTC) i optička nit do kabineta – Fiber to the Cabinet (FTTCab), [2], [4]. Slikom 20., na str. 31., prikazane su mogućnosti razvlačenja optičkih vlakana.



Slika 20.: Mogućnosti razvlačenja optičkih vlakana. Preuzeto od [3].

Kod pristupnih tehnologija FTTC (engl. Fiber to the Curb) i FTTCab (engl. Fiber to the Cabinet) pristup je ostvaren s pomoću optičkih niti koja povezuju optički linijski terminal OLT (engl. Optical Line Terminal) s optičkim mrežnim jedinicama ONU (engl. Optical Network Unit) smještenima u blizini skupine kuća ili zgrada, a koja su pak nekom vrstom DSL tehnologija (najčešće VDSL) povezane s mrežnim završecima NT (engl. Network Termination) unutar samih kuća ili zgrada. Takve vrste tehnologija sadrže ormarić gdje se provodi optičko-električka pretvorba, a signali se pritom distribuiraju do korisnika putem VDSL modema i telefonske parice na udaljenosti od 300 do 1500 m. Sustav Fiber to the Building (nit do zgrade) je samo inačica FTTC-a (engl. Fiber to the Curb) gdje je optički linijski terminal OLT (engl. Optical Line Terminal) povezan optičkim vlaknima s optičkim mrežnim završecima ONT (engl. Optical Network Termination), tj. optička mrežna jedinica ONU (engl. Optical Network Unit) smještena je u podrumu zgrade. Krajnju fazu razvoja širokopojasne pristupne mreže putem optičkih vlakana predstavlja arhitektura FTTH (engl. Fiber to the Home) gdje je optičko vlakno u potpunosti istisnulo uporabu telefonske parice (vidljivo na slici 20.), [2], [4].

Pristupnu mrežu utemeljenu na FTTx tehnologijama fizički je moguće realizirati pomoću poveznica p2p (engl. point-to-point), tj. od točke do točke gdje svaki korisnik posjeduje svoju vlastitu optičku nit ili pasivne optičke mreže PON (engl. Passive Optical Network) gdje krajnji korisnici dijele jednu zajedničku optičku nit. Na slici 21., prikazana je razlika između optičke mreže od točke do točke i pasivne PON (engl. Passive Optical Network) optičke mreže. Prednost korištenja pasivnih optičkih mreža za razliku od optičke poveznice od točke do točke je u uštedi pri izgradnji kabelaške infrastrukture, jer uporabom PON-a, tj. pasivnih optičkih mreža, smanjuje se potreba za količinom optičkih niti. Snaga signala koji se šalje od lokalne centrale do krajnjeg korisnika u pasivnoj optičkoj mreži dijeli se na više korisnika koji su povezani na mrežu pomoću optičkog razdjelnika (engl. Passive Optical Splitter), a to je vidljivo na slici 21. Kod pasivnih optičkih mreža PON (eng. Passive Optical Network), multipleksiranje se temelji na vremenskom multipleksiranju TDM (engl. Time Division Multiplexing), a podaci se prema krajnjem korisniku prenose načelom razasijanja (engl. broadcast), dok se podaci u smjeru od korisnika prema mreži prenose višestrukim pristupom mediju (engl. multiple medium access), tako što se ukupni raspoloživi pojas dijeli između većeg broja korisnika. Broj krajnjih korisnika po jednom razdjelniku obično ne prelazi iznos broja 64, [2], [4].

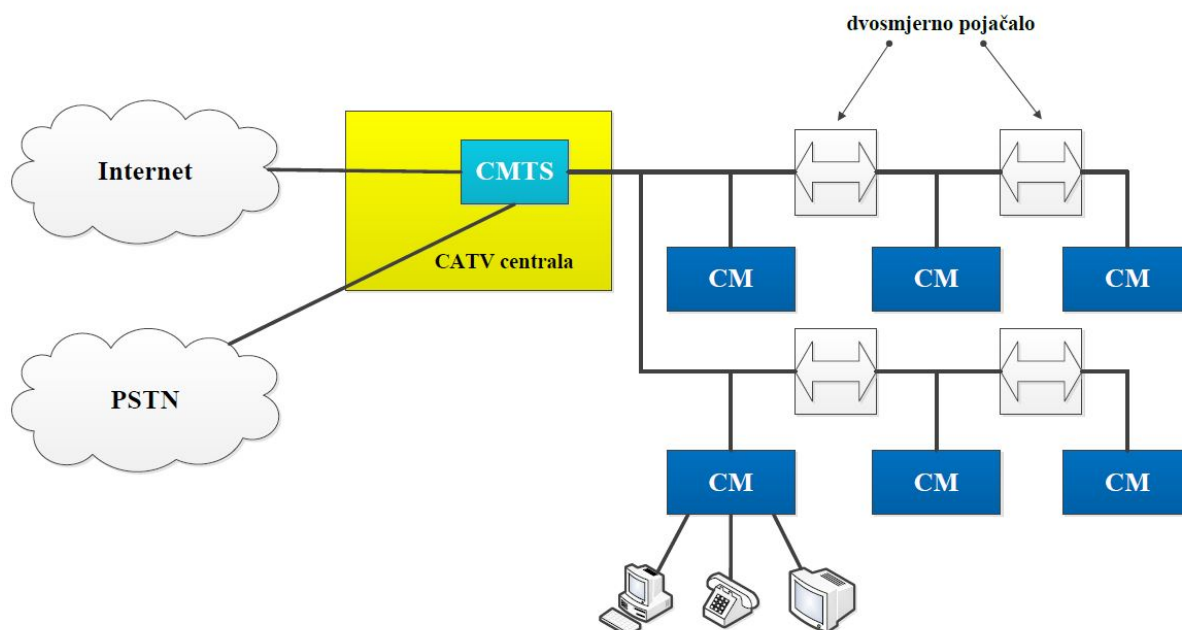


Slika 21.: Arhitektura FTTx sustava. Podatci od [2].

Autor objašnjava [4], da je mreža p2p (engl. point-to-point), tj. optička mreža od točke do točke najjednostavnija, ali i najskuplja varijanta optičke mreže. Svaki korisnik ima svoju vlastitu optičku nit, te se na takav način svakom korisniku osigurava prijenosna brzina od 155 Mbit/s u oba smjera uz domet signala od 100 kilometara. Radi smanjenja optičkih niti i troškova njegovog postavljanja, uvodi se korištenje valnog multipleksiranja na dionici od centrale do skupine korisnika. Takva tehnika omogućuje svakom korisniku da koristi zasebnu valnu duljinu na jednoj optičkoj niti i na takav način dobiva zasebnih 155 Mbit/s. Zbog velikog prijenosnog kapaciteta takva mreža je idealna za pružanje usluga kao što je potpuni video na zahtjev, prijenos TV signala visoke razlučivosti, telekonferencije itd.

4.3. Širokopojasni pristup putem koaksijalnog kabela

Za razliku od DSL pristupne tehnologije koja je razvijena na postojećoj telefonskoj mreži, širokopojasni pristup putem koaksijalnog kabela kao temeljnu arhitekturu koristi mrežu kabelske televizije CATV (engl. Community Access Television). Veći dio mreže ipak se izvodi pomoću optičkih vlakana, ali posljednja milja, tj. veza do korisnika realizirana je koaksijalnim prijenosnim medijima. Širokopojasni pristup Internetu koaksijalnim kabelima realizira se s pomoću kabelskih modema (engl. Cable Modem, CM), koji su koaksijalnim kabelima povezani sa završnim sustavom CMTS (engl. Cable Modem Termination System), a koji predstavlja temeljni dio CATV centrale (head-end) operatora kabelske mreže. Uporaba pojačala omogućuje da se signal može prenijeti na velikim udaljenostima. Takva vrsta arhitekture mreže je vrlo ekonomično rješenje jer se koristi vrlo mali broj kabela, a jedan CMTS (engl. Cable Modem Termination System) može posluživati i do 2000 korisnika po jednom TV kanalu. Korištenjem kabelskih modema omogućuje se pristup Internetu, a svi korisnici koji su povezani na CMTS (engl. Cable Modem Termination System), pomoću zajedničkog koaksijalnog kabela dijele ukupnu prijenosnu brzinu, pa je prema tome prisutan i problem sigurnosti, odnosno privatnosti komunikacije. Brzine prijenosa podataka koje je moguće postići kabelskim modemima iznose 55,2 Mbit/s u dolaznom smjeru (engl. downlink) i 3 Mbit/s u odlaznom smjeru (engl. uplink). Slikom 22., na str. 34., prikazana je arhitektura mreže koja omogućuje pristup Internetu korištenjem kabelskih modema, [2], [4].

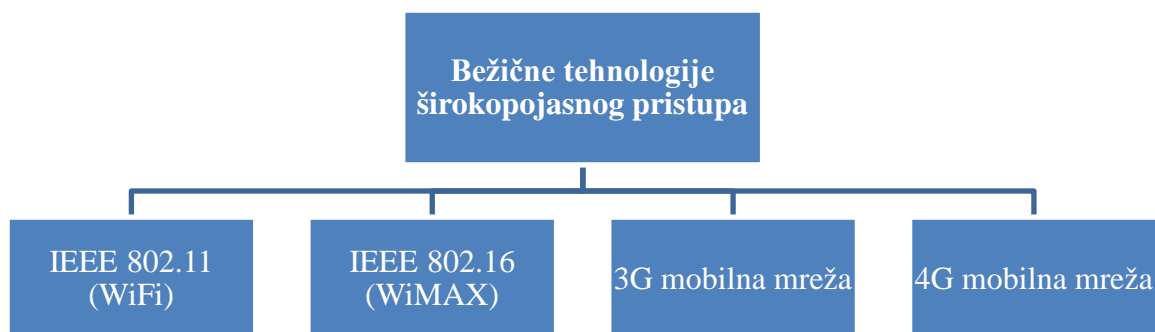


Slika 22.: Pristup Internetu ostvaren kablskim modemima. Podatci od [2].

Drugi način izvedbe širokopoasnog pristupa putem koaksijalnog kabela može se realizirati kao hibridna optičko-koaksijalna mreža HFC (engl. Hybrid Fiber/Coax). HFC mreža omogućuje da se signali odaslani iz centrale optičkim vlaknima prenose do optičkih čvorova od kojih se dalje koaksijalnim kabelima distribuiraju krajnjim korisnicima. Upravo zbog velike širine raspoloživog frekvencijskog pojasa koaksijalnog kabela (reda veličine MHz u odnosu na bakrenu parice reda veličine kHz), hibridna optičko-koaksijalna mreža HFC služi kao prijelazna osnova za potpuno optičke digitalne mreže. HFC je asimetrična širokopoasna mreža gdje je dolazni (engl. downlink) i odlazni (engl. uplink) prijenos frekvencijski podijeljen. Dolazni frekvencijski prijenos (engl. downlink) širine 50-450 MHz podijeljen je na potkanale širine 6 MHz. Potkanali podržavaju brzine prijenosa od 25 do 40 Mbit/s. Odlazni frekvencijski pojas (engl. uplink) dosta je uži i iznosi od 5 do 50 MHz, a razlog je taj što HFC mreža prvenstveno služi kao broadcast arhitektura, tj. namijenjena je za razaslanje televizijskih i video programa. Dio frekvencijskog spektra od 750 MHz do 1 GHz planiran je za posluživanje budućih širokopoasnih usluga dvosmjernog tipa, [2], [4].

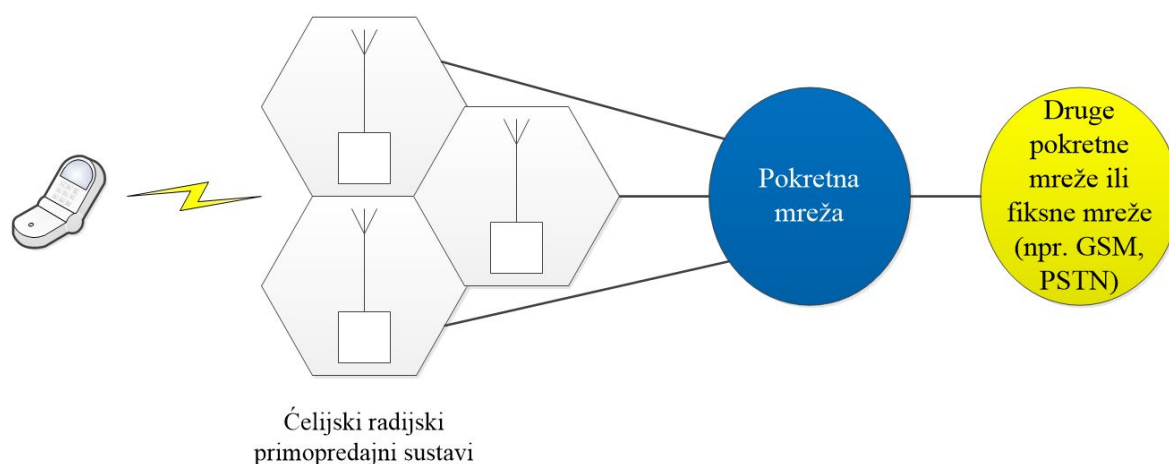
5. BEŽIČNE TEHNOLOGIJE ŠIROKOPOJASNOG PRISTUPA

Zbog jednostavne ugradnje i relativno niske cijene, danas je sve veća orijentacija na bežičnim tehnologijama, a veća potražnja za širokopojasnim pristupom Internetu u razvijenim područjima dovodi do sve veće izgradnje postojećih žičnih infrastruktura kao što su koaksijalni kabel ili bakrena parica. Ali u područjima u kojima nije razvijena takva vrsta infrastrukture (ruralna područja, tj. brdsko-planinska područja), pristup telekomunikacijskim uslugama nije prihvatljivo realizirati žičnim pristupom zbog veoma skupe cijene koja je potrebna za izgradnju žične ili optičke mreže. Poznata je činjenica da je bilo kojem telekom operatoru najviše troškova ostvareno upravo last-mile infrastrukturom. Pojam last-mile (posljednja milja) se odnosi na vezu između lokalne centrale i krajnjeg korisnika, a kojom se opisuje fizička veza (koja je najčešće ostvarena bakrenom paricom) između pružatelja usluge i samoga korisnika. Upravo zbog tih razloga, kao rješenje nudi se pristup mreži upotrebom bežičnih tehnologija koja omogućuju pristup u području pokrivenim radijskim signalom, [2], [16], [17]. Slikom 23., prikazana je podjela zemaljskih bežičnih pristupnih tehnologija koja će biti opisana u ovom poglavlju.



Slika 23.: Podjela bežičnih širokopojasnih pristupnih tehnologija. Podatci od [2], [3].

Javna mreža u kojoj se pristup zasniva na radijskoj komunikaciji koja omogućuje pokretljivost korisničkog terminala na području pokrivanja radijskim signalom, naziva se pokretna mreža (engl. mobile network). Jezgrena mreža je u pravilu fiksna mreža kojom se povezuju dijelovi pristupne mreže. Pristupna mreža je realizirana kao radijska pristupna mreža RAN (engl. Radio Access Network), a temelji se na sustavu ćelija. Ćelija (engl. cell) je područje koje je pokriveno jednim radijskim primopredajnim sustavom. U susjednim ćelijama rabe se različite frekvencije, a u udaljenim ćelijama iste frekvencije. Mreža koja je ostvarena na ćelijskom konceptu pristupa mreži, osim čvorova za primopredaju radijskog signala, sadrži i skup čvorova zaduženih za povezivanje unutar pokretne mreže i s drugim mrežama. Osnovna arhitektura bežične pokretne mreže koja sadrži jezgrenu i pristupnu mrežu prikazana je slikom 24., [2], [18].

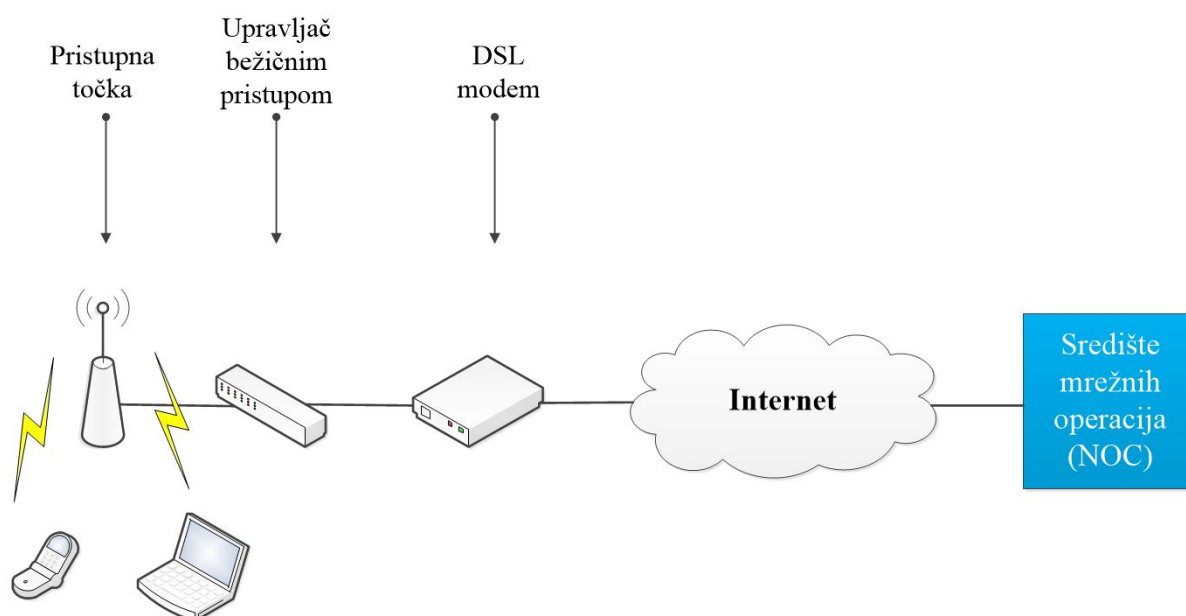


Slika 24.: Osnovna arhitektura bežične pokretne mreže. Podatci od [18].

5.1. IEEE 802.11 (WiFi)

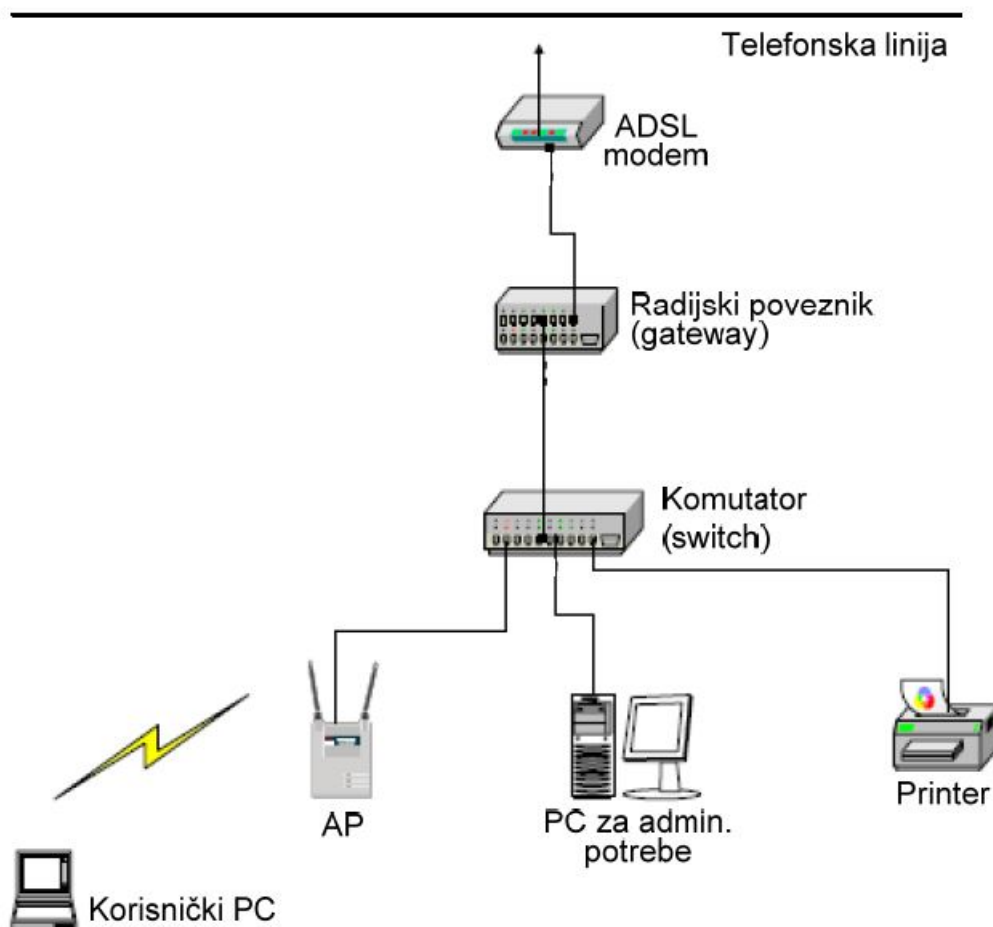
Jedna od najpoznatijih tehnologija koja omogućavaju bežični širokopojasni pristup uslugama je standard IEEE 802.11, a njegov komercijalni naziv često se spominje kao WiFi. Prva komercijalna oprema za WLAN (engl. Wireless Local Area Network) mreže pojavila se 1990. godine, a veliki utjecaj na razvoj i primjenu WLAN sustava imao je proces normizacije proveden u okviru odbora IEEE (engl. Institute of Electrical and Electronic Engineers), skraćenog naziva IEEE 802. Kao rezultat uspješne normizacije WLAN mreža, 1997. godine usvojen je standard IEEE 802.11. WiFi tehnologija realizirana je kao bežična lokalna računalna mreža WLAN (engl. Wireless Local Area Network) koja pokriva relativno malo

zemljopisno područje, a služi za povezivanje mobilnih telefona, osobnih računala, printera i ostalih uređaja na određenoj lokaciji. Osnovna arhitektura WiFi bežične pristupne tehnologije može se vidjeti na slici 25., a sastoji se od pristupnih točaka (engl. Access Point, AP) koja služe za povezivanje radijske i fiksne LAN (engl. Local Area Network) mreže. Korisnici putem svojih terminalnih uređaja pristupaju WLAN mreži preko WLAN mrežnih kartica, a pristupna točka prima, pohranjuje i odašilje podatke između radijske i fiksne mrežne infrastrukture. Jedna pristupna točka podržava tek nekoliko korisnika (mali broj korisnika) i radi unutar raspona do nekoliko stotina metara, [2], [19].



Slika 25.: Arhitektura WiFi bežične pristupne tehnologije. Podatci od [2].

Autor nadalje objašnjava [2], [19], da najveću primjenu ima na mjestima s velikom koncentracijom prometa na lokacijama kao što su zračna luka, željeznički i autobusni kolodvori, hoteli, restorani, mali poslovni prostori itd., ali se zbog svoje jednostavnosti upotrebljava i za kućno umrežavanje raznih uređaja. Arhitektura mreže za mali poslovni prostor je identična arhitekturi koja se koristi za kućno umrežavanje, a pristup Internetu se ostvaruje preko javne telekomunikacijske mreže uz pomoć ADSL modema (vidljivo na slici 26., str. 38). Tehnologija IEEE 802.11 radi u nelicenciranom frekvencijskom pojasu ISM (engl. Industrial, Scientific, Medical), što predstavlja određenu prednost zbog toga što za njihovo korištenje nisu potrebne posebne dozvole nadležnih državnih tijela (radi u frekvencijskom pojasu 2,4 GHz i 5 GHz), te tako nisu potrebne posebne novčane naknadne za korištenje tog frekvencijskog spektra.



Slika 26.: Primjer arhitekture mreže za mali poslovni prostor. Preuzeto od [19].

Naknadno su 1999. godine usvojena dva dodatka normi IEEE 802.11, a to su IEEE 802.11a i IEEE 802.11b. Standard 802.11a radi u frekvencijskom pojasu 5 GHz i omogućava brzine prijenosa do 54 Mbit/s, dok standard 802.11b radi u frekvencijskom pojasu 2,4 GHz i omogućava brzine prijenosa do 11 Mbit/s. U normi IEEE 802.11 upotrebljavaju se transmisijske tehnike kao što su tehnika proširenog spektra uz primjenu skakanja frekvencija (engl. Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS), tehnika proširenog spektra uz primjenu izravnog slijeda (engl. Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS), zatim tehnika koja se temelji na OFDM (engl. Orthogonal Frequency Division Multiplex) višestrukom pristupu i novije norme koje omogućuju veće prijenosne brzine temelje se na MIMO (engl. Multiple Input-Multiple Output) tehnici, [4], [19]. Detaljniji prikaz osnovnih karakteristika raznih 802.11 normi vidljiva su u tablici 4., na str. 39.

Tablica 4.: Usporedni prikaz WiFi standarda. Podatci od [3].

Standard	Godina	Frekvencija	Brzina	Unutrašnja pokrivenost	Vanjska pokrivenost
802.11a	1999	5 GHz	54 Mbit/s	35 m	120 m
802.11b	1999	2,4 GHz	11 Mbit/s	35 m	140 m
802.11g	2003	2,4 GHz	54 Mbit/s	38 m	140 m
802.11n	2009	2,4 ili 5 GHz	600 Mbit/s	70 m	250 m
802.11ac	2013	5 GHz	1300 Mbit/s	70 m	250 m

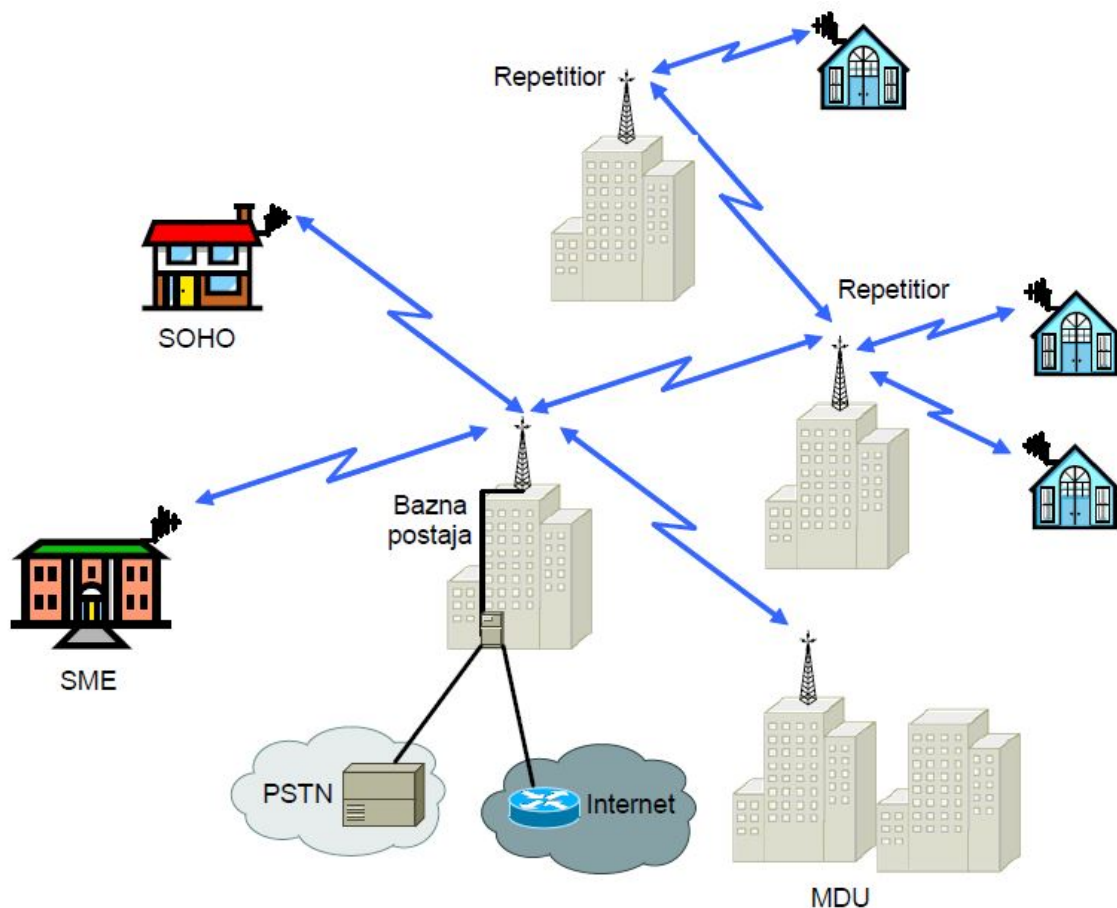
5.2. IEEE 802.16 (WiMAX)

Kako bi se omogućile širokopojasne interaktivne usluge u mrežama gradskih područja MAN (engl. Metropolitan Area Network), normizacijska tijela u Europi i SAD-u započela su rad na mrežama od točke do više točaka (engl. point-to-multipoint, P2MP). Takve mreže nude proširenje mogućnosti u usporedbi s WLAN tehnologijom jer omogućuju veća područja pokrivanja i veće brzine prijenosa podataka. Radijske MAN mreže razvijaju se u okviru IEEE radne skupine 802.16. Prema tome, svjetska standardizacijska organizacija je 1998. godine odredila radnu skupinu naziva 802.16 Working Group koja je zadužena za razvoj bežičnog standarda za gradske mreže. Prva inačica standarda nazvana je IEEE 802.16, a njezin popularni komercijalni naziv je WiMAX (engl. Worldwide Interoperability for Microwave Access), te kao takav služi za realizaciju gradskih bežičnih mreža WMAN (engl. Wireless Metropolitan Area Network). WiMAX bežična tehnologija je u početku razvoja bila prvenstveno realizirana kao fiksna bežična tehnologija za fiksne aplikacije, a kasnije je razvitkom tehnologije omogućila i pokretljivost korisničke opreme. Prema tome, dostupne su dvije inačice WiMAX tehnologije, a to su 802.16d (ili 802.16–2004) i 802.16e (ili 802.16–2005). Obje vrste inačica bazirane su na istom standardu, ali svaka od njih posebno je optimizirana za pružanje fiksnih i mobilnih aplikacijskih rješenja, [2], [19].

Prva inačica WiMAX tehnologije koristila je frekvencijsko područje od 10 GHz do 66 GHz, ali kako je taj sustav zahtijevao optičku vidljivost između predajnika i prijemnika, odlučeno je kako će nova inačica 802.16a koristiti frekvencijski pojas od 2 GHz do 11 GHz, te takav novi sustav nije zahtijevao optičku vidljivost između predajnika i prijemnika, a zbog toga je bio puno bolje prilagođen za rad u gusto naseljenim područjima. Kasnije je standard 802.16a doraden i promijenjen u naziv IEEE 802.16d (ili IEEE 802.16-2004). 802.16d standard (nepokretne mreže) namijenjen je za fiksne sustave i omogućuje širokopojasni pristup uslugama slično kao i xDSL tehnologija, tj. usmjeren je za korištenje fiksnih aplikacija, a omogućava pristup lokalnoj petlji (posljednja milja) bežičnim pristupom mreži. Predstavlja alternativu žičnim pristupnim tehnologijama i to naročito u ruralnim područjima gdje je izgradnja WiMAX mreže daleko isplativije rješenje za operatore od npr. xDSL ili FTTx infrastrukture, te kao takva uvelike ublažava digitalnu podjelu između gradskih i ruralnih sredina. Omogućava brzinu prijenosa podataka do 75 Mbit/s i područje pokrivanja do 75 km (fiksne stanice), [2], [19].

Za razliku od 802.16d standarda, inačica 802.16e (pokretne mreže) namijenjena je za mobilne sustave, tj. omogućava mobilnost samih korisnika koji zahtijevaju velike brzine prijenosa podataka u pokretu. Korisnici se putem mobilnih terminalnih uređaja koji podržavaju rad u WiMAX mreži povezuju preko WiMAX ćelije, te tako imaju mogućnost koristiti telekomunikacijske usluge u pokretu. Takva vrsta WiMAX tehnologije predstavlja konkurenciju mnogim mobilnim tehnologijama kao što su 2G ili 3G mobilne tehnologije. Brzina prijenosa podataka kod 802.16e standarda iznosi je do 20 Mbit/s, te koristi ćelijsko pokrivanje područja do 20 km dometa signala i to s relativno malim brojem baznih stanica (mobilne stanice), [2], [19].

Prema autoru [19], dominantna arhitektura radijskih gradskih mreža, tj. WiMAX mreže je arhitektura od točke prema većem broju točaka (engl. point-to-multipoint, P2MP), gdje se više krajnjih korisnika povezuje na jedan mrežni čvor (baznu postaju), a može se vidjeti na slici 27., str. 41. Bazna postaja sadrži odašiljačku i prijemnu opremu koja omogućava odašiljanje signala prema krajnjim korisnicima i prijem signala od korisnika. Moguća je primjena i sektorskih antena na strani bazne postaje čime se postiže podjela pokrivanja sustava u sektore.



Slika 27.: Temeljna arhitektura P2MP mreže. Preuzeto od [19].

Kao što je vidljivo na slici 27., na baznu postaju su priključene različite vrste korisnika, kao što su pojedinačni kućni korisnici, zatim mali i kućni uredi (engl. Small Office-Home Office, SOHO), mala i srednja poduzeća (engl. Small and Medium Enterprise, SME) i blokovi zgrada (engl. Multi-dwelling Units, MDU). Glavna uloga repetitora je da omoguće povećano pokrivanje područja radijskim signalom ili se koriste kao međupostaje tamo gdje nema optičke vidljivosti između bazne postaje i korisničkog terminala, [19].

Najveća primjena takve bežične tehnologije upravo se očituje u slabo naseljenim i nerazvijenim područjima, a potvrda toga je da se najveća izgrađena WiMAX mreža nalazi na području Pakistana. WiMAX tehnologija može se koristiti na razne načine, a neka od njih su, [19]:

- upotreba za video nadzor.
- spajanje bankomata.

- pružanje mogućnosti interaktivnih igara (on-line igre).
- praćenje vozila.
- vojna primjena.
- upotreba u kriznim situacijama (najbrže se uspostavi telekomunikacijska infrastruktura nakon nepogoda kao što su potresi, poplave itd.).

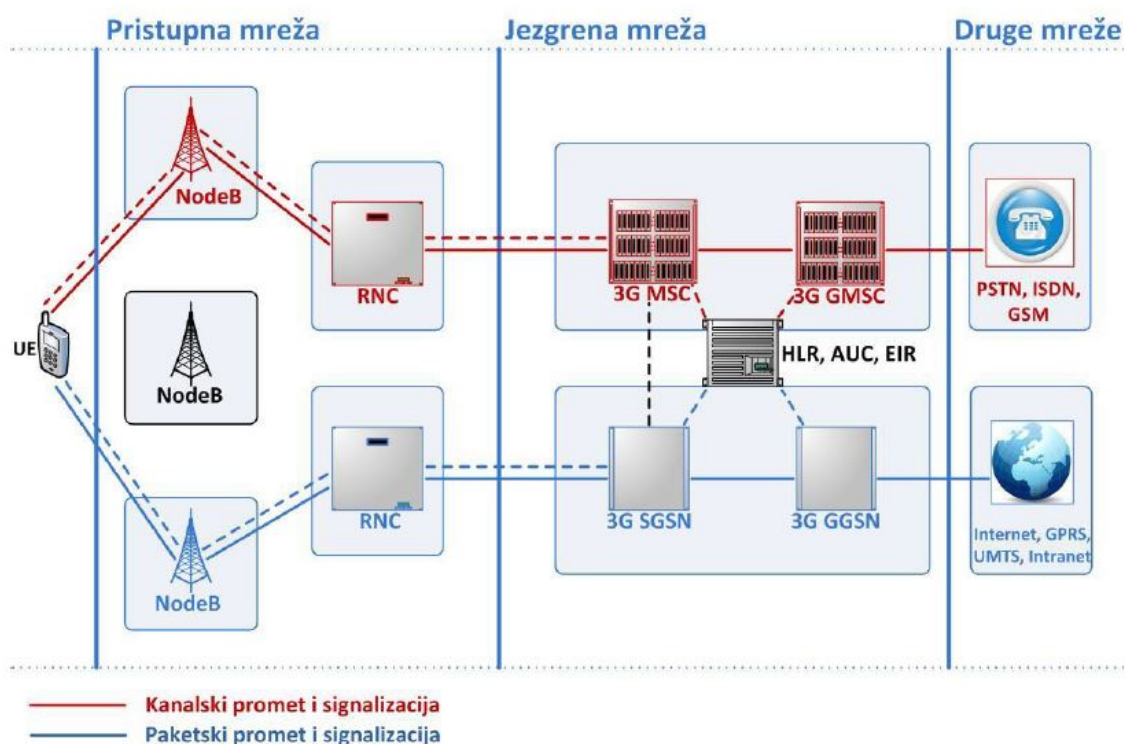
5.3. 3G mobilna mreža

Prve dvije mobilne generacije riješile su govornu komunikaciju u pokretu, ali je nedostajala mogućnost kvalitetnijeg prijenosa podataka, pa je razvojem mobilne tehnologije kao rješenje brzog pristupa Internetu u pokretu razvijen opći pokretni telekomunikacijski sustav UMTS (engl. Universal Mobile Telecommunications System, 3G). Mogućnost korištenja usluga u pokretu motivirani su novim pristupom Internetu, a ona se definiraju kao, [2], [20]:

- osobna pokretljivost uz prijenos govora, podataka i multimedije.
- brzina prijenosa do 144 kbit/s u svim uvjetima, do 384 kbit/s na otvorenom prostoru i 2 Mbit/s u zatvorenom prostoru.
- komutacija kanala i paketa.
- simetričan i asimetričan prijenos.
- kvaliteta govora usporediva s onom u fiksnoj mreži.
- brzi pristup Internetu u pokretu itd.

Kako je glavna zadaća treće mobilne generacije mreža postići širokopojasni pristup Internetu i podatkovnim mrežama u svim uvjetima, uvodi se novi radijski pristup UTRAN (engl. UMTS Terrestrial Radio Access Network) koji se temelji na širokopojasnom višestrukom pristupu u kodnoj podjeli (engl. Wideband Code Division Multiple Access, WCDMA), a glavna karakteristika tog pristupa mreži je da svi korisnici dijele isti frekvencijski pojas i razlikuju se jedino prema dodijeljenim kodovima (svaki korisnik ima svoj jedinstveni različiti kod). Takav višestruki pristup mreži podržava kanalski i paketski prijenos i omogućuje pružanje višestrukih istodobnih usluga. Frekvencijskim dupleksiranjem (engl. Frequency Division Duplexing, FDD) omogućena je podjela uzlazne veze od silazne veze, tako da je frekvencijsko područje od 1920 do 1980 MHz namijenjeno za uzlaznu vezu

(engl. uplink), a pojas između 2110 i 2170 MHz namijenjen je za silaznu vezu (engl. downlink). Razlog za uvođenje WCDMA višestrukog pristupa su veći kapaciteti i bolja pokrivenost od TDMA i drugih rješenja, te prikladnost za kanalski i paketski prijenos uz višestruke istodobne usluge u jednom pokretnom terminalu pri većim prijenosnim brzinama. Simetričan prijenos u pristupnoj mreži koristi se za prijenos govora, a asimetrični za prijenos podataka. Arhitektura UMTS mreže s podrškom za kanalski i paketski prijenos prikazana je na slici 28., [2], [20].



Slika 28.: Arhitektura UMTS mreže. Preuzeto od [20].

Osnovni element radijske pristupne mreže UTRAN (engl. UMTS Terrestrial Radio Access Network) čini radijski mrežni podsustav RNS (engl. Radio Network Subsystem) gdje se nalazi upravljač radijske mreže RNC (engl. Radio Network Controller) te jedan ili više čvorova B (engl. Node B) s radijskim primopredajnim dijelom koji podržavaju FDD/TDD način rada. Upravljač radijske mreže ekvivalentan je upravljaču bazne postaje (engl. Base Station Controller, BSC), a čvor B primopredajnom dijelu bazne postaje (engl. Base Transceiver Station, BTS) u GSM-u. Jedan čvor B sadrži nekoliko radijskih primopredajnih postaja što omogućava meko prekapćanje (engl. soft handover), tj. prijelaz iz jedne u drugu

ćeliju može se obaviti bez kašnjenja. Svaki radijski mrežni podsustav (engl. Radio Network Subsystem, RAN) posluhuje svoj skup ćelija, [2], [20].

Kao što je već navedeno, funkcionalnosti čvora B mogu se usporediti s GSM-ovom baznom stanicom BTS, dakle radi na rubu radijskog sućelja i glavna uloga mu je da prima ulazne podatke. Također, upravlja s nekoliko ćelija, a u drugom smjeru preko odgovarajućeg sućelja komunicira s radijskim kontrolerom RNC, tako što primljene podatke dalje usmjerava prema RNC-u i jezgrenoj mreži. Postoje tri različite vrste čvorova B, a to su UTRA-FDD čvor B, UTRA-TDD čvor B i Dual-mode čvor B koji podržava dva načela radijskog pristupa (TDD-Time Division Duplex i FDD-Frequency Division Duplex). Upravljač radijske mreže ima sličnu ulogu kao BSC iz GSM mreže, a glavna uloga mu je da preuzima kontrolu nad upravljanjem resursima (dodjela kanala, prekapćanje itd.), te sadrži protokole (skup pravila i dogovora koja služe za komunikaciju između različitih čvorova) koja omogućavaju komunikaciju na relaciji između korisničkog pokretnog terminala i pristupne mreže UTRAN, [20].

UE (engl. User Equipment) je korisnička oprema, tj. pokretni terminalni uređaj koji se nalazi kod krajnjeg korisnika i putem kojih korisnici ostvaruju usluge pokretne mreže. Jedan UE može podržavati i više različitih radijskih standarda, a takav uređaj sadrži SIM (engl. Subscriber Identity Module) modul koji jedinstveno opisuje svakog pretplatnika u mreži i zaštićen je osobnim identifikacijskim brojem PIN (engl. Personal Identification Number), [2], [20].

Prikazanom slikom 28., na str. 43., autor dalje objašnjava [2], [20], da se u UMTS jezgrenoj mreži razlikuju dva dijela, a to su dio s komutacijom kanala (engl. Circuit Switched, CS) i dio s komutacijom paketa (engl. Packet Switched, PS). Razlog tome je što se UMTS mreža razvila kao nadogradnja postojećih GSM/GPRS mreža. Kanalski dio jezgrene mreže izveden je iz rješenja za GSM i omogućuje vezu na govorne mreže kao što su PSTN, ISDN, GSM, a paketski dio izveden je iz GPRS-a i omogućuje vezu prema Internetu i drugim podatkovnim mrežama. Komutacijski čvor u jezgrenoj mreži koji podržava kanalski orijentiranu komunikaciju je MSC (engl. Mobile Services Switching Centre), a uz komutaciju, pruža podršku i korisničkoj pokretljivosti tako što ako korisnik promjeni svoje lokacijsko područje, MSC će preusmjeriti vezu na odgovarajuće čvorove B i RNC, čime će se izvršiti operacija prekapćanja. Također, MSC sprema trenutne korisničke lokacije u VLR bazu

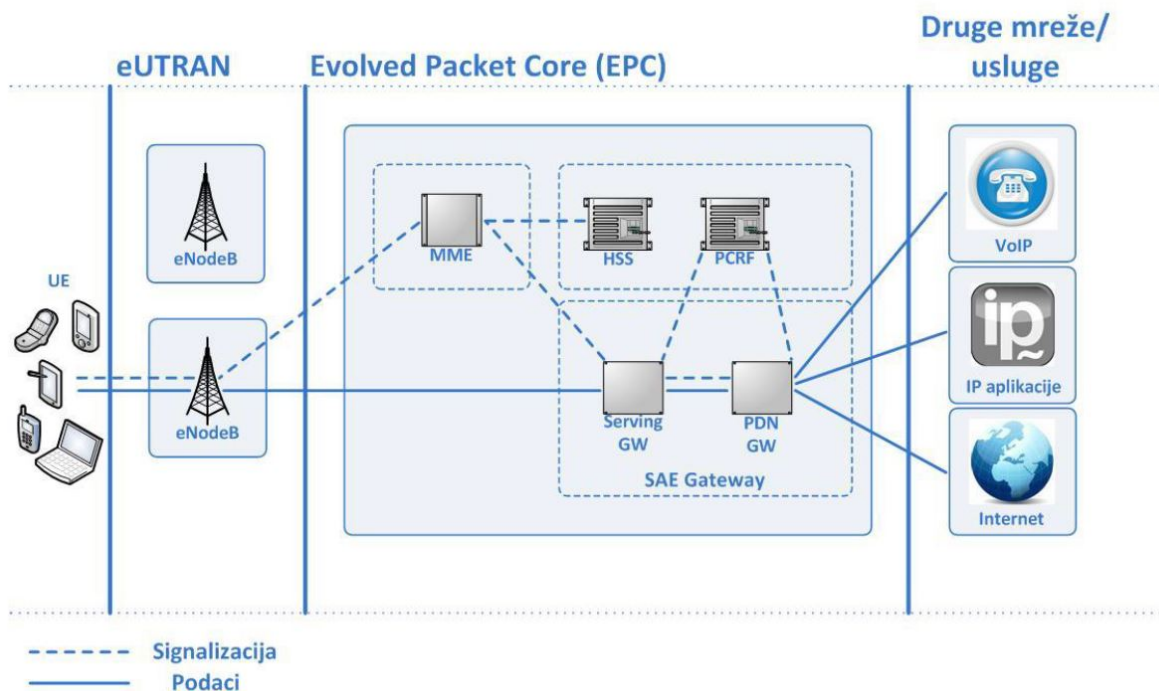
podataka (engl. Visitor Location Register) kako bi se olakšala i ubrzala uspostava poziva. Posebna varijanta MSC-a naziva se GMSC (engl. Gateway Mobile Services Switching Centre), tj. prilazni pokretni komutacijski centar putem kojega se ostvaruju veze prema različitim vanjskim mrežama. Svi korisnički podaci s pridruženim ključevima i dozvolama koji su ostvareni pretplatničkim statusom spremaju se u bazu podataka HLR (engl. Home Location Register), a u njemu se zapisuje i trenutna lokacija korisnika u mreži koju vrši MSC, čime se olakšava uspostava dolaznih poziva prema korisnicima.

Prijenos paketskog prometa u jezgrenoj mreži izvodi uslužni GPRS potporni čvor (engl. Serving GPRS Support Node, SGSN), a provodi zadatke slične onima koje za kanalsku komutaciju vrši MSC. Dakle preusmjerava paket i pamti trenutnu korisničku poziciju kako bi novopridošli paket namijenjen upravo tom korisniku mogao naći put do svog odredišta. Sudjeluje pri autentifikaciji korisnika, te sprema lokalnu kopiju korisničkih podataka u bazu podataka. Veza između paketskog dijela UMTS mreže i drugih paketskih mreža ostvaruje se pomoću prilaznog GPRS potpornog čvora (engl. GPRS Support Node, GGSN) u koji se često implementira neka varijanta vatrozida. Dolazni podatkovni promet se putem protokola GTP (engl. GPRS Tunnel Protocol) prosljeđuju prema odgovarajućem SGSN-u, [20].

5.4. 4G mobilna mreža

Nova radijska pristupna mreža pod nazivom evoluirani UTRAN ili E-UTRAN (engl. Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network) dovela je do razvoja 4G mobilne mreže (engl. Long Term Evolution, LTE). Nova radijska pristupna mreža omogućava bolji protok podataka, veći kapacitet ćelija i smanjuje kašnjenje u prijenosu korisničkih podataka. 3GPP (engl. The 3rd Generation Partnership Project) je za LTE tehnologiju definirao u potpunosti novu paketsku jezgrenu mrežu zasnovanu na protokolu IP, a radi se o evoluiranoj jezgrenoj paketskoj mreži (engl. Evolved Packet Core, EPC) pod nazivom SAE (engl. System Architecture Evolution). LTE koristi fleksibilan frekvencijski pojas od 1,25 do 20 MHz, a tehnologije koje su omogućene na fizičkom sloju LTE mreže su OFDM (engl. Orthogonal Frequency Division Multiple Access), SC-FDMA (engl. Single Carrier Frequency Division Multiple Access) i sustav s višestrukim ulazima i izlazima koji podržava višestruke pametne antene MIMO (engl. Multiple Input-Multiple Output). Omogućena brzina prijenosa podataka ovisi o širini frekvencijskog pojasa (LTE koristi fleksibilan frekvencijski pojas između 1,25

do 20 MHz), a kod 20 MHz i 2 x 2 MIMO moguće su brzine prijenosa do 150 Mbit/s. Jedna od glavnih karakteristika LTE tehnologije je ta što koristi manju širinu kanala od 180 kHz za razliku od UMTS mreže koji koristi kanale širine 5 MHz, pa se na taj način data streams dijele u mnogo manjih data stream-ova što donosi veće brzine prijenosa, [3], [20]. Slikom 29., prikazana je arhitektura LTE mreže.



Slika 29.: Arhitektura LTE mreže. Preuzeto od [20].

Kako bi se moglo pristupiti LTE mreži, na korisničkoj strani su potrebni mobilni terminalni uređaji sa podrškom za LTE mrežu. Evoluirani čvor B (engl. evolved nodeB, eNodeB) predstavlja baznu stanicu u LTE mreži, a sastoji se od antena, radio modula (modulacija/demodulacija signala) i digitalnih modula (obrada svih signala na air-radio sučelju prema jezgrenoj mreži). Novost je što eNodeB može odlučiti predati (engl. handover) susjednom eNodeB čvoru. Usmjerava podatke prema jezgrenoj mreži i odgovoran je za kompresiju zaglavlja, sigurnu komunikaciju s korisničkim uređajem, te pouzdanu isporuku paketa, [3], [20].

Jedan čvor signalizacijske ravnine i dva čvora korisničke ravnine čine jezgrenu mrežu. Upravljački čvor naziva entitet (engl. Mobility Management Entity, MME) upravlja

pokretljivošću i temeljni je dio jezgrene mreže, te brine o signalizacijskim porukama koje se izmjenjuju između korisničke opreme i čvorova jezgrene mreže protokolom NAS (engl. Non-Access Stratum). Osnovne funkcionalnosti čvora MME u jezgrenoj mreži je autentifikacija (kada se mobilni uređaj prvi puta spoji na LTE mrežu, eNodeB komunicirati će sa MME čvorom za razmjenu potrebnih podataka o mobilnom uređaju), zatim uspostava kanala za prijenos paketa od mobilnog uređaja prema Internetu, prekapčanje poziva (engl. handover) i pružanje funkcionalnosti za SMS i Voice Support bez obzira na to što je LTE mreža u cijelosti IP mreža, ali je potrebna podrška tradicionalnim uslugama, [3], [20].

Korisničke čvorove predstavljaju čvorovi prilaza jezgrene mreže SAE (engl. SAE Gateway), a čine ju uslužni prilazni čvor S-GW (engl. Serving Gateway) i paketski mrežni prilazni čvor PDN-GW (engl. Packet Data Network Gateway). Paketski mrežni prilazni čvor PDN-GW je izlaz (engl. gateway) prema Internetu, tj. usmjerava podatke od jezgrenog dijela mreže prema ostalim paketskim mrežama i ostvaruje vezu s ostalim mrežama. Odgovoran je za dodjelu IP adresa mobilnim uređajima (kada se korisnik želi spojiti na Internet, PDN-GW kontaktira MME koji vrši autentifikaciju korisnika i zatražuje IP adresu od PDN-GW), naplatu i za pružanje usluga s određenom kvalitetom QoS (engl. Quality of Service). Uslužni prilazni čvor S-GW je posrednik između eNodeB i Packet Data Network Gateway čvora, tj. tunelira podatke prema PDN-GW (izlaz prema Internetu) i prati kretanje korisničkog terminala između čvorova eNodeB pristupne mreže (prospaja na drugi eNodeB u slučaju handovera), [3], [20].

U jezgrenoj mreži nalazi se još poslužitelj domaćih pretplatnika HSS (engl, Home Subscriber Server) i čvor za upravljanje resursima i terećenjem PCRF (engl. Policy Control and Charging Rules Function). Baza podataka koja sadrži podatke o pretplatnicima, njihovim profilima, uslugama itd. čini čvor HSS, a terećenje, autorizacija, provođenje pravila operatora itd. čini čvor PCRF. Prema tome vidljivo je kako EPC jezgrena mreža u potpunosti radi kao IP mreža temeljena na protokolu IP i koja svojim visokim performansama i kapacitetom zadovoljava sve postavljene zahtjeve u vidu mogućnosti pružanja naprednih stvarno-vremenskih i multimedijских usluga.

6. TELEUSLUGE ŠIROKOPOJASNIH PRISTUPNIH MREŽA

U ovom dijelu poglavlja bit će opisana neka od aktualnih teleusluga širokopojasnih pristupnih mreža. Sama riječ širokopojasnost (engl. broadband) definira se kao termin koji omogućava pristupanje nekoliko uslugama istovremeno kao što je npr. pristup Internetu, pristup govornoj komunikaciji, pristup podacima, video uslugama itd., a istovremeno korištenje svih tih usluga omogućene su nekom od pristupnih širokopojasnih mreža opisanih u prethodnim poglavljima.

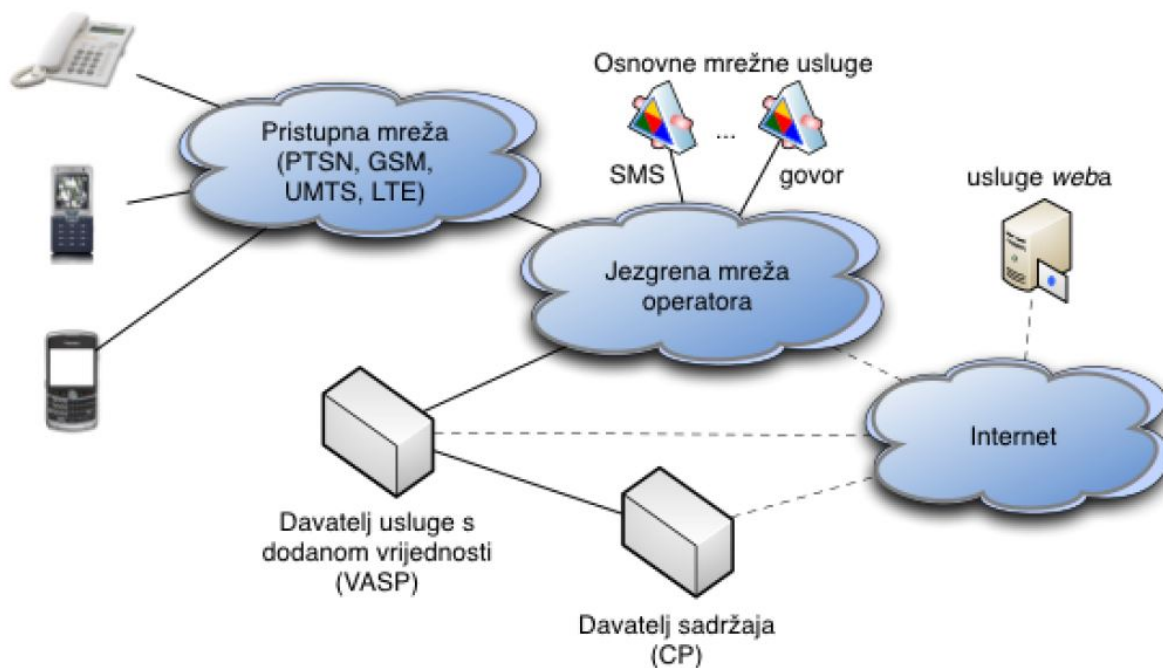
Važno je dakle pružiti širokopojasne usluge koje će krajnjim korisnicima probuditi interes za prelaskom na jednu od širokopojasnih pristupnih mreža kao što su xDSL ili FTTx pristupne tehnologije. Neki od načina je uvođenje usluga poput videa na zahtjev (engl. Video on Demand), mogućnost umreženog igranja između većeg broja igrača (engl. Multiplayer Gaming), videokonferencije itd., [2].

6.1. IPTV i usluge s dodanom vrijednosti

Usluge koje zahtijevaju dodatnu obradu prometnih i lokacijskih podataka, povrhu obrade koju provode osnovne usluge vezane za prijenos i naplatu komunikacije, čine usluge s dodanom vrijednosti VAS (engl. Value Added Services). Usluge s dodanom vrijednosti vezane su uz osnovne teleusluge i predstavljaju njihovo proširenje u smislu pohranjenog informacijskog sadržaja, a naplaćuju se po posebnoj tarifi. VAS usluge nisu toliko vezane za postupke uspostavljanja poziva, preusmjerenja, kontrolu itd., nego su više vezane uz sadržaj korisničke informacije, te nude različite transakcijske mogućnosti i pristup pohranjenim sadržajima. Neki od primjera usluga s dodanom vrijednosti (engl. Value Added Services, VAS) su, [6], [20]:

- usluge kućnog bankarstva (engl. home banking).
- rad na daljinu (engl. teleworking).
- učenje na daljinu (engl. distance learning).
- video na zahtjev (engl. video-on-demand, VoD).

Komponente koje sudjeluju u pružanju usluga s dodanom vrijednosti kao jedna funkcionalna cjelina omogućavaju da se krajnjem korisniku isporuči željeni zahtjev za uslugom. Te ključne komponente kod pružanja VAS usluga su davatelj usluge s dodanom vrijednosti (engl. Value Added Service Provider, VASP), davatelj sadržaja (engl. Content Provider, CP) i operator telekomunikacijske mreže, [20]. Na slici 30., vidljiva je arhitektura usluge s dodanom vrijednosti VAS (engl. Value Added Services).



Slika 30.: Arhitektura VAS. Preuzeto od [20].

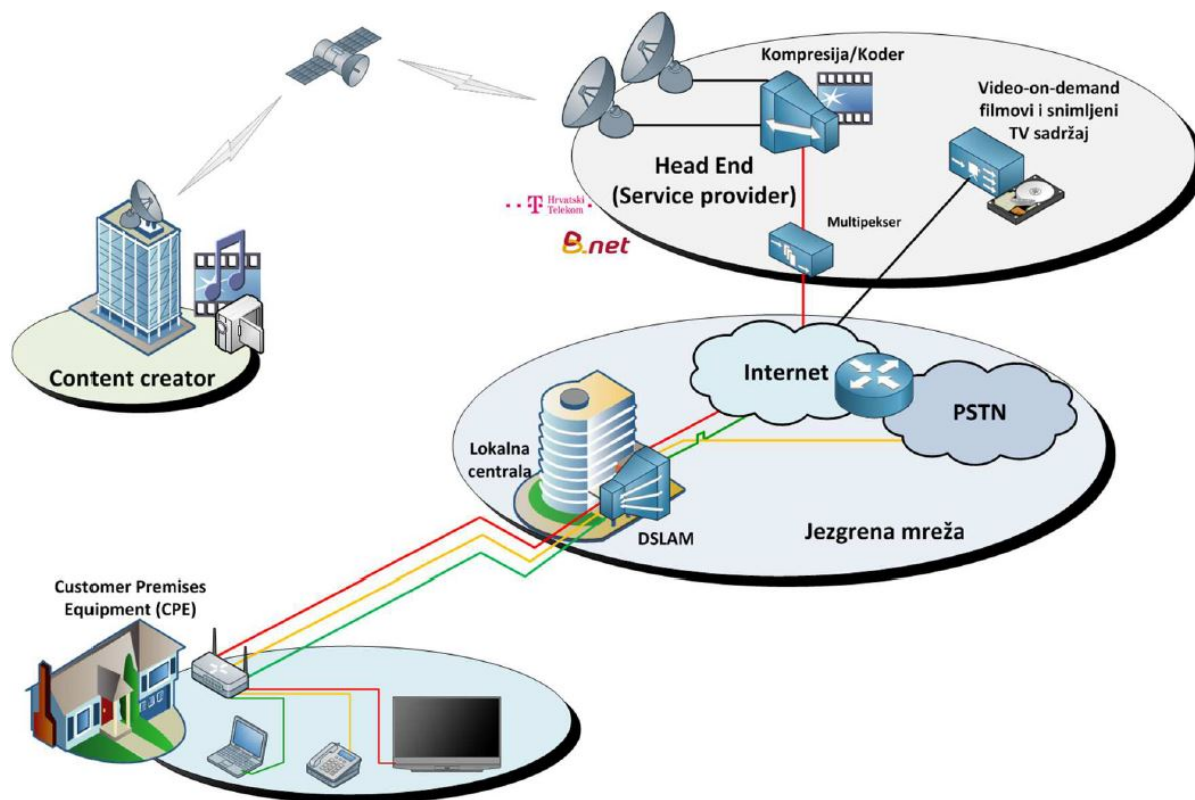
Davatelj usluge s dodanom vrijednosti (engl. Value Added Service Provider, VASP) ima zadaću da krajnjem korisniku učinkovito pruži uslugu s dodanom vrijednosti, a može se pojaviti u ulozi mrežnog operatora koji svojom infrastrukturom omogućava prijenos informacija. S pravnog aspekta davatelj usluge je najodgovorniji za uslugu koju daje, pa se njemu nameće najveći broj pravila koji mora poštovati kod davanja usluga. Davatelj sadržaja (engl. Content Provider, CP) zadužen je za kreiranje i oblikovanje sadržaja, te u dogovoru s davateljem usluga, isporučuje odgovarajući sadržaj istom. Sadržaje koje davatelj sadržaja isporučuje definirani su zakonskim okvirima i ugovorima (između davatelja sadržaja i davatelja usluga). Operator omogućuje prijenos informacija putem jezgrene mreže, tj. omogućuje krajnjim korisnicima poveznicu na mrežu, [20].

U pružanju usluga s dodanom vrijednosti, moguće je VAS usluge povezati i s uslugama weba. Tako VAS arhitektura postaje naprednija usluga gdje davatelj usluga i davatelj sadržaja koriste i usluge weba. Na takav način omogućava se naplata i dodatna obrada korisničkih zahtjeva drugih informacijskih sustava. Npr. putem usluge weba krajnjim korisnicima omogućena je naplata kreditnim karticama, a davatelj sadržaja primjenom usluge weba može koristiti dodatnu obradu ili prilagodbu svojih sadržaja (prilagođava veličinu sadržaja koju krajnji korisnik VAS usluge može prikazati na svojem terminalnom uređaju). Arhitektura VAS sastoji se od sljedećih koraka, [20]:

1. Registracija korisnika na VAS.
2. Korisnik šalje upit davatelju usluga, a upit se šalje putem jednog od sučelja, tj. prijenos podataka izvodi se pomoću mrežnog operatora.
3. Davatelj usluga kontaktira davatelja sadržaja kako bi preuzeo odgovarajući sadržaj za korisnika (davatelj usluga može pokrenuti izvođenje funkcija usluge weba, ali taj korak nije obavezan).
4. Davatelj sadržaja daje traženi sadržaj koji će putem davatelja usluga stići krajnjem korisniku (davatelj sadržaja može koristiti i uslugu weba u cilju osiguravanja sadržaja za korisnika, ali taj korak nije obavezan).
5. davatelj usluga šalje traženi sadržaj korisniku.

IPTV (engl. Internet Protocol Television) je skup usluga s dodanom vrijednosti, tj. mreža koja omogućava prijenos TV sadržaja IP mrežom, a sadržaj putuje IP paketima. Prijenos IPTV sadržaja odvija se privatnom mrežom operatora, a ne Internetom ili drugim javnim mrežama. Glavni razlog je taj što je privatna mreža operatora posebno dimenzionirana za prijenos IPTV sadržaja do korisnika s mogućnosti pružanja najveće kvalitete usluga, a osim transfera IPTV sadržaja, moguć je prijenos i govornih (engl. Voice over IP, VoIP) i podatkovnih usluga. Osim pružanja usluge prijenosa sadržaja uživo, najveća prednost IPTV mreže u usporedbi s tradicionalnom TV broadcast mrežom je mogućnost dvosmjerne komunikacije između korisnika i davatelja usluge, tj. krajnji korisnik može prema mreži slati zahtjeve za odgovarajućim sadržajem (video na zahtjev), ali bez skidanja sadržaja (engl. downloading), [2], [3].

Autor objašnjava [2], da je IPTV mreža skup usluga s dodanom vrijednosti koja omogućava uživo slanje TV programa, video na zahtjev (engl. video-on-demand, VoD), plaćanje po odgledanom sadržaju (engl. Pay Per View, PPV), podrška za prijenos videa visoke razlučivosti (HDTV) i uslugu osobnog videorekordera (engl. Personal Video Recorder, PVR).



Slika 31.: Arhitektura IPTV mreže. Preuzeto od [3].

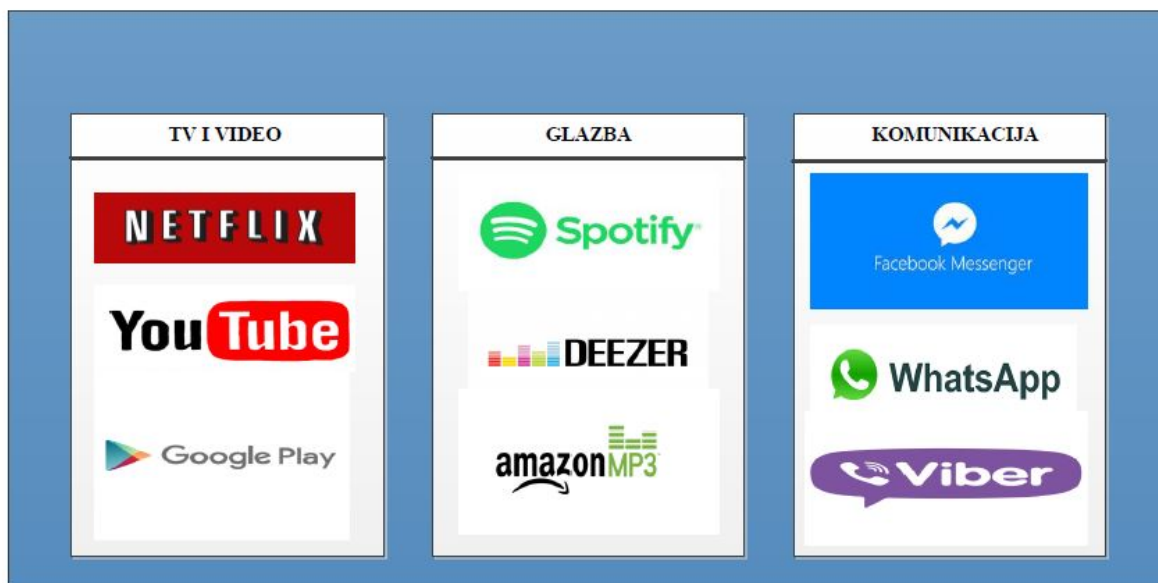
Slikom 31., prikazana je arhitektura IPTV mreže koju čine korisnička oprema (engl. Customer Premises Equipment, CPE), lokalna centrala, davatelj usluga (engl. Service Provider) i davatelj sadržaja (engl. Content Creator). Korisničko područje sadrži krajnji korisnički uređaj (engl. Set Top Box) koji je zaslužan za primanje IPTV sadržaja, njegovo dekodiranje i slanje na TV uređaj. Krajnji korisnik je nekom od širokopojsasnih pristupnih tehnologija povezan s lokalnom centralom. Lokalna centrala povezuje krajnje korisnike s jezgrenom mrežom operatora (Internet, PSTN) putem koje se podaci dalje šalju davatelju usluga. U lokalnoj centrali nalazi se DSLAM (engl. Digital Subscriber Line Access Multiplexer) uređaj koji multipleksira sadržaj Triple play usluga (telefonija, televizija, Internet) od i prema krajnjem korisniku, tj. multipleksira veći broj DSL linkova (prometa) na brzu jezgrenu ATM mrežu, te se nakon toga usmjerava promet prema odgovarajućem

davatelju mrežne usluge NSP (engl. Network Service Provider) koji dalje prosljeđuje podatke davatelju usluga SP (engl. Service Provider). Kada se govorni promet prenosi s podatkovnim prometom, tj. istim prijenosnim medijem (DSL over POTS), govorni i podatkovni promet se u lokalnoj centrali razdvajaju pomoću višestrukog POTS razdjelnika (POTS Splitter Chassis, PSC). Davatelj usluga (npr. B.net) nudi teleusluge krajnjem korisniku, a sadrži Video on Demand sustav koji se brine o video sadržaju (baza podataka raznih videa) i uređaj IPTV multicast streamer u kojem nakon što se sadržaj prepakira u pogodan format, šalje se u mrežu multicast načinom (isti paket šalje se točno određenoj grupi korisnika, tj. grupi korisnika koji su pretplaćeni na uslugu). Davatelj sadržaja proizvodi sadržaj usluga koje se nude korisniku (film, glazba itd.), [2], [3].

6.2. OTT usluge

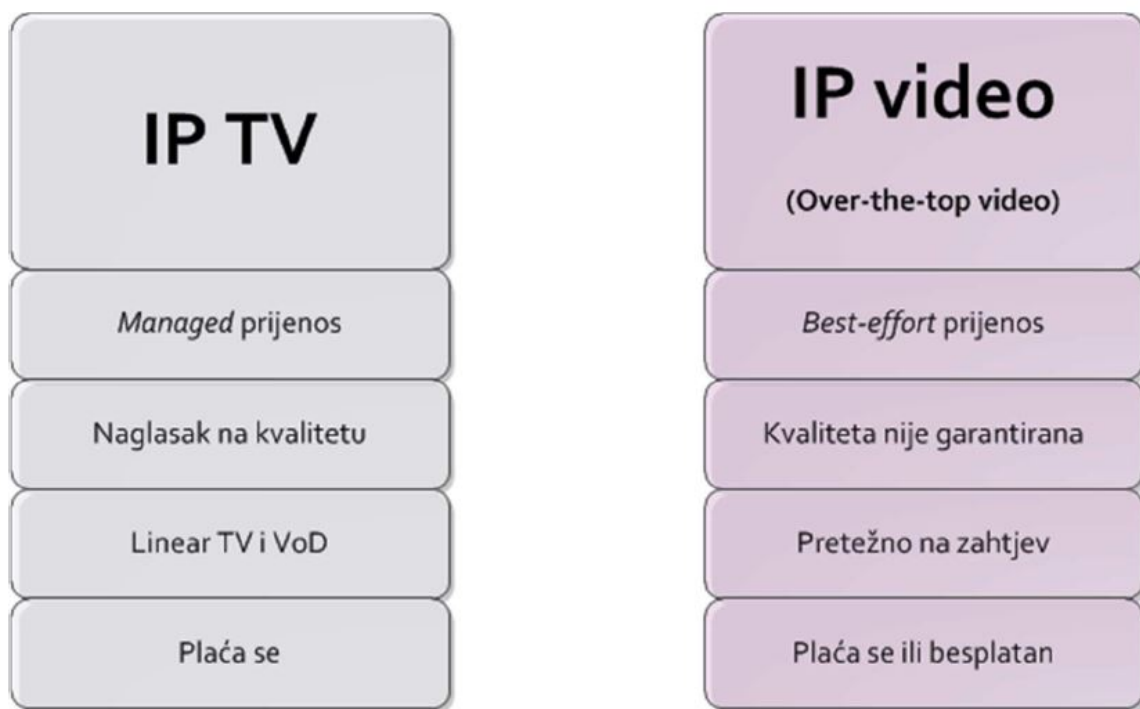
Usluge prijenosa govora, podataka i videa koje se odvijaju putem otvorenog Interneta i koje zaobilaze tradicionalni način distribucije nazivaju se OTT (engl. Over The Top Services) usluge. Telekom operator jedino što može naplatiti je ostvareni promet, ali ne i samu uslugu, pa prema tome OTT usluge predstavljaju veliku konkurenciju uslugama telekom operatora. Popularnost OTT usluga razvila se masovnim korištenjem pametnih telefona (engl. smartphone), neograničenog pristupa Internetu (engl. Flat Rate) i činjenici da su skoro uvijek mnogo jeftiniji način komunikacije od tradicionalnih načina (on-line komunikacija putem WhatsApp aplikacije u usporedbi s tradicionalnim telefonskim linijama), [21], [22].

Godinama je jedini način gledanja televizije bilo putem tradicionalne kabelske infrastrukture i TV razasijanja (engl. broadcast). Razvojem tehnologije i mogućnošću širokopojasnog pristupa Internetu danas korisnici mogu gledati filmove i serije putem različitih uređaja kao što su tableti, pametni telefoni, Blu-ray čitači itd. Davatelji videa na Internetu (engl. Video-on-the-Internet provider) kao što je Netflix, Apple i Google suočavaju se s izazovima tržišta tako što pribavljaju prava na najaktualnije filmove i TV serije od medijskih organizacija kao što su Time Warner ili The Walt Disney Company. Upravo takve nove kompanije koje distribuiraju video sadržaj putem Interneta kao što su Netflix, Apple, Amazon i Google mnogim telekom operaterima i filmskim kazalištima smanjuju novčane prihode, te predstavljaju izravnu konkurenciju na tržištu, [7]. Neki od primjera OTT kompanija koja pružaju OTT usluge prikazane su na slici 32., str. 53.



Slika 32.: Neki od OTT pružatelja usluga. Podatci od [22].

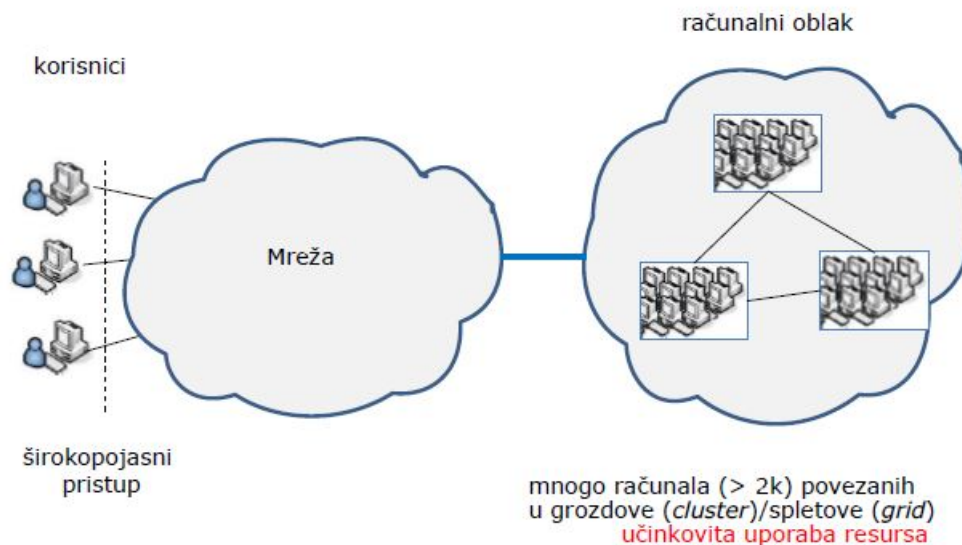
Korisnici će i dalje plaćati širokopolasni pristup Internetu telekom operaterima, ali zbog jeftinije cijene koju pružaju OTT usluge, riješit će se svog npr. kablenskog paketa (i dalje će plaćati pristup Internetu, ali će prestati s pretplatom na usluge dodane vrijednosti) i okrenut će se OTT uslugama za jeftiniji način gledanja videa putem Interneta. Jedna od najvećih OTT kompanija je upravo Netflix koja ima najbolje rezultate u pružanju videa na Internetu i predstavlja najveću konkurenciju telekom operaterima. Za razliku od nekih OTT kompanija, Netflix ne prodaje svoju opremu, tj. hardver za gledanje videa, nego je njihov sadržaj kompatibilan sa svim današnjim uređajima kao što su npr. Sony Playstation konzola, Microsoft Xbox konzola, pametni mobiteli, tableti itd, dok neki OTT davatelji usluga prodaju svoju opremu (engl. set-top devices) koji su kompatibilni s TV opremom. Uglavnom, većina telekom operatera se slaže da je zajedno sa OTT davateljima usluga najkorisniji put prema naprijed, tako što će takav pristup ponuditi objema stranama priliku za zajednički budući rast, [7], [22]. Slikom 33., na str. 54., prikazana je glavna razlika između IPTV usluge i OTT usluge, te je važno primijetiti kako je glavna odlika IPTV usluga koju nudi telekom operator prvenstveno kvaliteta sadržaja koji se isporučuje krajnjem korisniku.



Slika 33.: Razlike između IPTV i Video over IP usluga. Preuzeto od [3].

6.3. Usluga računarstva u oblaku

Računarstvo u oblaku odnosi se na paradigmu gdje se računalne funkcije, tj. dokumenti, podaci, aplikacije i cijeli podatkovni centri, nalaze i održavaju na lokaciji pružatelja usluga. Računarstvo u oblaku (engl. cloud computing) kao pojam se pojavio prije nekoliko godina i odnosi se na raspodijeljeni sustav (engl. distributed system) koji pruža računalne usluge online na zahtjev. Korisnici računarstva u oblaku obično koriste velike brzine prijenosa podataka kako bi dohvatili podatke ili aplikacije koje se nalaze u bazama podataka na lokaciji pružatelja usluga, tako da usluga računarstva u oblaku dosta ovisi o kapacitetima linkova na strani krajnjih korisnika, tj. za učinkovit rad računarstva u oblaku nužan je širokopojasni fiksni ili pokretni pristup (FTTx ili LTE pristupna mreža). ITU (engl. International Telecommunication Union) definirao je računarstvo u oblaku (engl. cloud computing) kao uslugu koja omogućuje usluge u oblaku (engl. cloud services) kao što je spremište podataka, korištenje aplikacija itd., [7], [23]. Slika 34., na str. 55., prikazuje odnos širokopojasne mreže i računalnog oblaka.



Slika 34.: Odnos širokopojasne mreže i računalnog oblaka. Preuzeto od [23].

Autor objašnjava [7], [23], da s obzirom na to kako se obrada podataka provodi na resursima druge organizacije, bitna je odgovornost pružatelja usluga u pružanju zaštite podataka, privatnosti i obrada istih. Također je bitno ostvariti povjerenje korisnika što je osnovni preduvjet za pružanje računarstva u oblaku. Osnovni model računarstva u oblaku sastoji se od korisnika i davatelja usluge gdje korisnik putem Interneta izravno zahtijeva uslugu od davatelja usluge u oblaku. Općenito postoje tri uslužna modela računarstva u oblaku, a to su:

1. Programska potpora kao usluga (engl. Software as a Service, SaaS)
2. Platforma kao usluga (engl. Platform as a Service, PaaS)
3. Infrastruktura kao usluga (engl. Infrastructure as a Service, IaaS)

Kod programske potpore kao usluge SaaS, korisnik koristi aplikaciju davatelja usluge koja se izvodi na infrastrukturi oblaka. Programeri aplikacija razvijaju specifične aplikacije za razna poduzeća (engl. Enterprise) i kućne korisnike, a korisnici za korištenje tih aplikacija plaćaju mjesečnu ili godišnju naknadu. Platforma kao usluga PaaS omogućuje da korisnik na infrastrukturu oblaka smješta svoju aplikaciju stvorenu programskim jezicima i raznim pomagalima davatelja usluge u oblaku. Primjer PaaS usluge je Microsoftov Azure platforma koja programerima nudi razvoj njihovih aplikacija putem oblaka (u Microsoftovim podatkovnim centrima gdje se nalaze razna pomagala za razvoj aplikacija) koje će kasnije

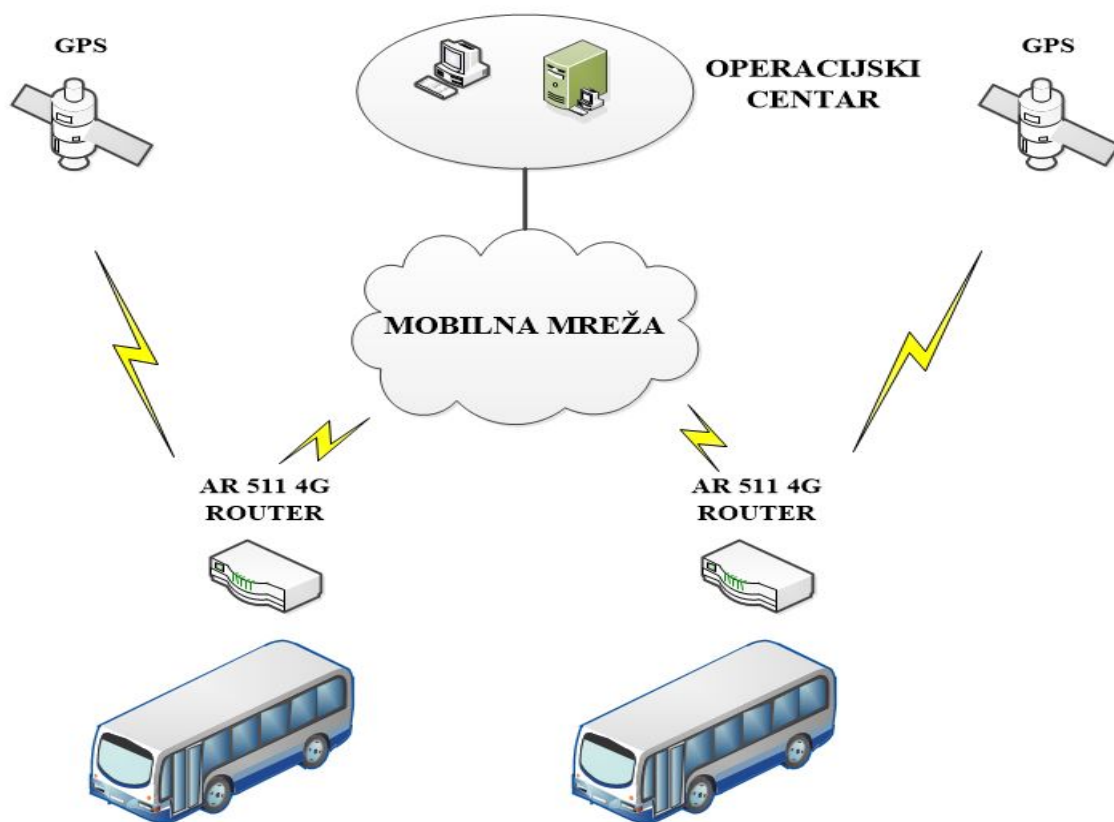
prodavati svojim korisnicima. I treći uslužni model računarstva u oblaku je infrastruktura kao usluga IaaS koja omogućava da korisnici ili razvojni programeri stvaraju svoje aplikacije na računalnoj i podatkovnoj infrastrukturi koja je u vlasništvu davatelja usluge u oblaku, tj. umjesto kupovine servera i podatkovnog prostora, klijenti će sve to kupiti u jednom paketu od davatelja usluge u oblaku. Npr. Googleov servis aplikacija (engl. Google Apps Services) prodaje aplikacije krajnjim korisnicima putem svoje računalne infrastrukture, a računalnu moć (serveri i podatkovni prostor) prodaje razvojnim programerima (engl. Software Developers), a razvojni programeri nakon što naprave svoju aplikaciju na Googleovoj računalnoj infrastrukturi, istu prodaju svojim klijentima. Učinkovito računarstvo u oblaku nije moguće bez brze pristupne i jezgrene mreže, pa su širokopojasne mreže usko vezane za pojam usluga računarstva u oblaku, [7], [23].

6.4. Usluge u pokretu korištenjem 4G routera

U Hrvatskoj je odnedavno dostupan neograničeni Internet (engl. Flat Rate), a da pritom nije potrebno ništa osim SIM (engl. Subscriber Identity Module) kartice i uređaja (4G routera) u koji će se utaknuti SIM kartica. Kada se za dom odabire davatelj internetske usluge ISP (engl. Internet Service Provider), većina korisnika automatski razmatra uvođenje fiksne linije. Ogroman dio teritorija Hrvatske pokriven je LTE/4G mobilnim mrežama koje nude prijenos 150 Mbit/s u dolaznom smjeru (engl. downlink) i 50 Mbit/s u odlaznom smjeru (engl. uplink), pa je takva situacija idealna za one korisnike koje putem fiksne linije ne mogu postići takve brzine prijenosa podataka. Uslugu nazvanu „Pokućni Internet“ pokrenuo je Tele2, a pruža neograničeni Internet podatkovni promet putem 4G/LTE mreže s maksimalnim mogućim brzinama do 150/50 Mbit/s (download/upload). Pretplatom na uslugu „Pokućni Internet“ korisnik dobiva Tele2 SIM karticu i Huaweijev 4G router, [24].

Autor dalje objašnjava [24], kako 4G routeri posjeduju fizički utor za SIM karticu i putem koje se ostvaruje komunikacija s 4G mobilnom mrežom. Takav način predstavlja najjednostavnije i najpraktičnije rješenje za brzo spajanje na Internet, a nakon što se ostvari komunikacija s 4G mobilnom mrežom, moguće je ostale uređaje (stolna računala, mobiteli, laptopi itd.) žično ili bežično spojiti na kućnu mrežu (4G router podržava gigabitni LAN port i 802.11b/g/n bežične mreže). To je posebno pogodno za one korisnike koji često rade izvan kuće, a ne žele gubiti vrijeme na traženje kafića s kvalitetnim WiFi-jem.

Drugi primjer korištenja 4G routera je u autobusima, a primjer 4G routera koji se može ugraditi u vozila je Huaweijev model 4G routera (model AR511 Agile Gateway Datasheet). Omogućuje korisnicima u autobusima bežični pristup mreži i tako korisnici mogu koristiti širokopojasne usluge u pokretu. AR511 4G router svojim dimenzijama omogućuje vrlo jednostavnu ugradnju u vozilo, a napajanje routera izvedeno je tako da se router napaja izravno iz napajanja motornog vozila. Takav router otporan je na prašinu, vodu, udarce i može podnijeti vrlo visoke radne temperature. Uglavnom, radi na 4G mobilnoj mreži, ali podržava i 3G mobilne mreže, te omogućuje bežične pristupne tehnologije 802.11 a/b/g/n na frekvencijama rada 2,4 GHz i 5 GHz, [25].



Slika 35.: Primjena 4G routera u autobusima. Podatci od [25].

Na slici 35., prikazana je primjena 4G routera u autobusima, te je vidljivo kako AR511 4G router povezivanjem na širokopojasnu mobilnu mrežu omogućuje besplatni bežični WiFi pristup mreži i tako korisnici u autobusima mogu pristupiti Internetu u bilo kojem trenutku. Ima ugrađeni GPS (engl. Global Positioning System) koji na temelju lokacije korisnika pruža usluge s dodanom vrijednosti (npr. u realnom vremenu može pružiti točne informacije o rasporedu vožnje, te tako putnici mogu saznati točno vrijeme dolaska na odredište). Operacijski centar putem mreže posluhuje 4G routere s redovitim održavanjem sustava kao što je npr. ažuriranje aplikacija i samog softvera koji upravlja routerom.

7. ZAKLJUČAK

Krajnji korisnici zahtijevaju da imaju mogućnost korištenja nekoliko usluga istovremeno, a pojam kojim se opisuje korištenje nekoliko usluga istovremeno je širokopojasnost (engl. broadband). Telekom operateri kako bi pridobili što više pretplatnika nude kvalitetnije i cjenovno pristupačnije usluge krajnjim korisnicima, a kako bi se te usluge mogle isporučiti krajnjim korisnicima potrebna su ulaganja u mrežnu infrastrukturu, a posebno je naglašen razvoj širokopojasnih pristupnih mreža. S gledišta telekom operatera xDSL pristupne tehnologije koristeći postojeću infrastrukturu predstavljaju cjenovno najekonomičnije rješenje kao pristupna tehnologija, ali utjecaj udaljenosti od korisničke opreme do lokalne centrale, korištenje bakrene parice ne predstavlja uvijek najbolje rješenje. Prema tome, telekom operateri uvode nove pristupne tehnologije, prvenstveno putem optičkih vlakana koje svojim velikim kapacitetima odgovaraju na suvremene telekomunikacijske zahtjeve korisnika. Ipak, najveća mana optičke pristupne tehnologije je cijena koja je potrebna za izgradnju optičke mreže, a u slabo naseljenim i teško dostupnim područjima, telekom operaterima se ne isplati graditi takva vrsta mreže, te je ona upravo najraširenija u gradskim urbanim područjima.

Korištenje WiFi tehnologije predstavlja jednu od najraširenijih bežičnih tehnologija, a mana je udaljenost signala koji se može isporučiti, pa se najčešće koristi unutar kućnog okruženja. Bežična pokrivenost signalom na velikim udaljenostima omogućena je pomoću gradske fiksne bežične mreže WiMAX, te je upravo ta tehnologija najviše korištena u ruralnim područjima. Razvojem mobilnih terminalnih uređaja i mobilnih brzih paketskih mreža kao što je 4G tehnologija, odnos cijene i brzine prijenosa podataka kod bežičnih pristupnih tehnologija postao je dosta sličan žičnim pristupnim tehnologijama, pa se mnogi korisnici odlučuju upravo za bežični pristup uslugama.

Ubrzani razvoj mobilnih pristupnih tehnologija kao što su 3G i 4G mobilne mreže dovodi do sve većeg korištenja mobilnih usluga, a spajanjem 4G routera na brze paketske mobilne tehnologije dovodi do očekivanja da će se u budućnosti povećano koristiti upravo bežične pristupne tehnologije, kako u kućnoj tako i u poslovnoj uporabi.

LITERATURA

- [1] Bošnjak, I., Badnjak, D.: Osnove prometnog inženjerstva (Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2005.)
- [2] Bažant, A. i drugi: Telekomunikacije-tehnologija i tržište (Element, Zagreb, 2007.)
- [3] Forenbacher, I., Peraković, D., Periša, M., Šarić, S.: Auditorna predavanja iz kolegija Arhitektura telekomunikacijske mreže (Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2016.) Dostupno s: <https://moodle.srce.hr/2017-2018/> (5.9.2018)
- [4] Bažant, A. i drugi: Osnovne arhitekture mreža (Element, Zagreb, 3. neizmijenjeno izdanje, 2014.)
- [5] Bošnjak, I.: Telekomunikacijski promet 1 (Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2001.)
- [6] Mrvelj, Š.: Auditorna predavanja iz kolegija Tehnologija telekomunikacijskog prometa 1 (Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2016.). Dostupno s: <https://moodle.srce.hr/2017-2018/> (5.9.2018)
- [7] Dodd, Annabel Z.: The essential guide to telecommunications (RR Donnelley in Crawfordsville, Indiana, USA, 2012.)
- [8] Hrvatska agencija za telekomunikacije: Zajedničko telekomunikacijsko tržište i tehnološki trendovi, Zajedničko korištenje DTK mreže (HAKOM, Zagreb, 2006.). Dostupno s: <https://www.hakom.hr/> (5.9.2018)
- [9] Broadband Reference Guide, A Resource for Digital Stakeholders (Center for Community Technology Solutions UW-Extension Madison, 2014.). Dostupno s: <http://eauclaire.uwex.edu/> (5.9.2018)
- [10] Horak, R.: Telecommunications and data communications handbook (John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, USA, 2007.)
- [11] Oliviero, A., Woodward, B.: The Complete Guide to Copper and Fiber-Optic Networking (John Wiley & Sons, Indianapolis, Indiana, USA, 5th Edition, 2014.)
- [12] Forenbacher, I., Šarić, S.: Svjetlovodni prijenosni sustavi i mreže (Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014.). Dostupno s: <https://moodle.srce.hr/2017-2018/> (5.9.2018)
- [13] Muštra, M.: Auditorna predavanja iz kolegija Mobilni komunikacijski sustavi (Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2016.) Dostupno s: <https://moodle.srce.hr/2017-2018/> (5.9.2018)

- [14] Bažant, A., Ježić, G.: Regulatorni aspekti mreža i usluga, Širokopojasni pristup (Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 2016.). Dostupno s: <https://www.fer.unizg.hr/> (5.9.2018)
- [15] Fabeta, T.: Evolucija širokopojasnih pristupnih mreža (Časopis Revija, Ericsson Nikola Tesla, Broj 2, 2007., str. 3-19.). Dostupno s: <http://arhiva.ericsson.hr/> (5.9.2018)
- [16] Petković, D.: WiMAX Bežična mreža najnovije generacije (CET čitalište 67, studeni, 2007.)
- [17] Projekt suradnje s Hrvatskom agencijom za poštu i elektroničke komunikacije: Pogled u budućnost (HAKOM, Zagreb, 2014.). Dostupno s: <https://www.hakom.hr/> (5.9.2018)
- [18] Ježić, G.: Regulatorni aspekti mreža i usluga, Pokretne mreže i usluge (Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 2016.). Dostupno s: <https://www.fer.unizg.hr/> (5.9.2018)
- [19] Grgić, S., Grgić, M., Kos, T., Modlic, B., Šišul, G.: Radijske tehnologije za širokopojasni nepokretni pristup i mjerenja (Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 2008.). Dostupno s: <https://www.hakom.hr/> (5.9.2018)
- [20] Projekt suradnje s Hrvatskom agencijom za poštu i elektroničke komunikacije: Pogled u budućnost (HAKOM, Zagreb, 2010.). Dostupno s: <https://www.hakom.hr/> (5.9.2018)
- [21] Popović, Ž.: OTT usluge: Prijetnja ili poslovna prilika za operatore? (Časopis Komunikacije, Ericsson Nikola Tesla, broj 5, 2012., str. 30.). Dostupno s: <http://arhiva.ericsson.hr/> (5.9.2018)
- [22] Bishry, Mamur R.: OTT Players: Challenges and Opportunities (Indonesian Telecommunication Regulatory Authority). Dostupno s: <http://www.itu.int/> (5.9.2018)
- [23] Projekt suradnje s Hrvatskom agencijom za poštu i elektroničke komunikacije: Pogled u budućnost (HAKOM, Zagreb, 2012.). Dostupno s: <https://www.hakom.hr/> (5.9.2018)
- [24] Šuštić, D.: Usporedni test: 4G routeri (Časopis BUG, broj 296-297, 2017., str. 54-69.)
- [25] Huawei AR511 Agile Gateway Datasheet (Huawei Technologies CO., LTD.). Dostupno s: <http://e.huawei.com/en/> (5.9.2018)

POPIS KRATICA

AWG (engl. American Wire Gauge)
ADSL (engl. Asymmetric DSL)
ANSI (engl. American National Standards Institute)
AP (engl. Access Point)
BER (engl. Bit Error Rate)
B-ISDN (engl. Broadband Integrated Services Digital Network)
BSC (engl. Base Station Controller)
BTS (engl. Base Transceiver Station)
CATV (engl. Cable TV)
CM (engl. Cable Modem)
CMTS (engl. Cable Modem Termination System)
CS (engl. Circuit Switched)
CP (engl. Content Provider)
CPE (engl. Customer Premises Equipment)
DSL (engl. Digital Subscriber Line)
DSLAM (engl. Digital Subscriber Line Access Multiplexer)
DMT (engl. Discrete Multitone)
DSSS (engl. Direct Sequence Spread Spectrum)
ETSI (engl. European Telecommunications Standards Institute)
E-UTRAN (engl. Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network)
EPC (engl. Evolved Packet Core)
FB (engl. Feeder Bridge)
FTTN (engl. Fiber to the Neighbourhood)
FTTx (engl. Fiber to the x)
FTTH (engl. Fiber to the Home)
FTTB (engl. Fiber to the Building)
FTTC (engl. Fiber to the Curb)
FTTCab (engl. Fiber to the Cabinet)
FHSS (engl. Frequency Hopping Spread Spectrum)
FDD (engl. Frequency Division Duplex)
GPS (engl. Global Positioning System)
GMSC (engl. Gateway Mobile Services Switching Centre)

GGSN (engl. GPRS Support Node)
GTP (engl. GPRS Tunnel Protocol)
HDSL (engl. High bit rate DSL)
HFC (engl. Hybrid Fiber/Coax)
HLR (engl. Home Location Register)
HSS (engl. Home Subscriber Server)
ITU-T (engl. International Telecommunication Union)
IN (engl. Intelligent Network)
ISP (engl. Internet Service Provider)
IEEE (engl. Institute of Electrical & Electronics Engineers)
IMA (engl. Inverse Multiplexing for ATM)
ISM (engl. Industrial, Scientific, Medical)
IPTV (engl. Internet Protocol Television)
IaaS (engl. Infrastructure as a Service)
LAN (engl. Local Area Network)
LTE (engl. Long Term Evolution)
MDF (engl. Main Distribution Frame)
MMF (engl. Multimode Fiber)
MSDSL (engl. Multirate Symmetric DSL)
MPEG2 (engl. Moving Picture Expert Group 2)
MIMO (engl. Multiple Input-Multiple Output)
MAN (engl. Metropolitan Area Network)
MDU (engl. Multi-dwelling units)
MSC (engl. Mobile Services Switching Centre)
MME (engl. Mobility Management Entity)
NM (engl. Network Management)
NCP (engl. Network Connection Point)
N-ISDN (engl. Narrowband ISDN)
NT (engl. Network Termination)
NAS (engl. Non-Access Stratum)
NSP (engl. Network Service Provider)
ONU (engl. Optical Network Unit)
OLT (engl. Optical Line Terminal)
OFDM (engl. Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

OTT (engl. Over The Top Services)
PSTN (engl. Public Switched Telephone Network)
POTS (engl. Plain Old Telephone Network)
PAM (engl. Pulse Amplitude Modulation)
P2P (engl. Point-to-Point)
PON (engl. Passive Optical Network)
P2MP (engl. Point-to-Multipoint)
PIN (engl. Personal Identification Number)
PS (engl. Packet Switched)
PDN-GW (engl. Packet Data Network Gateway)
PCRF (engl. Policy Control and Charging Rules Function)
PPV(engl. Pay Per View)
PVR (engl. Personal Video Recorder)
PSC (engl. POTS Splitter Chassis)
PaaS (engl. Platform as a Service)
QAM (engl. Quadrature Amplitude Modulation)
QoS (engl. Quality of Service)
RAN (engl. Radio Access Network)
RNS (engl. Radio Network Subsystem)
RNC (engl. Radio Network Controller)
SP (engl. Switching Point)
STP (engl. Shielded Twisted Pair)
SMF (engl. Singlemode Fiber)
SDSL (engl. Symmetric DSL)
SOHO (engl. Small Office-Home Office)
SME (engl. Small and Medium Enterprise)
SIM (engl. Subscriber Identity Module)
SGSN (engl. Serving GPRS Support Node)
SAE (engl. System Architecture Evolution)
SC-FDMA (engl. Single Carrier Frequency Division Multiple Access)
S-GW (engl. Serving Gateway)
STB (engl. Set Top Box)
SaaS (engl. Software as a Service)
TETRA (engl. Terrestrial Trunked Radio)

TDM (engl. Time Division Multiplexing)
TDD (engl. Time Division Duplex)
UTP (engl. Unshielded Twisted Pair)
UMTS (engl. Universal Mobile Telecommunications System)
UTRAN (engl. UMTS Terrestrial Radio Access Network)
UE (engl. User Equipment)
VDSL (engl. Very high bit rate DSL)
VLR (engl. Visitor Location Register)
VAS (engl. Value Added Services)
VoD (engl. Video on Demand)
VASP (engl. Value Added Service Provider)
VoIP (engl. Voice over IP)
WLAN (engl. Wireless Local Area Network)
WLL (engl. Wireless Local Loop)
WiMAX (engl. Worldwide Interoperability for Microwave Access)
WMAN (engl. Wireless Metropolitan Area Network)
WCDMA (engl. Wideband Code Division Multiple Access)

POPIS ILUSTRACIJA

Popis slika

Slika 1.: Prikaz komunikacijske mreže.....	3
Slika 2.: Segmentacija telekomunikacijske mreže	4
Slika 3.: Poopćeni (referentni) model telekomunikacijske mreže	6
Slika 4.: Lokalna petlja kao linija za pristup PSTN – u	7
Slika 5.: Infrastruktura širokopojasne mreže	9
Slika 6.: Osnovna podjela prijenosnih medija	10
Slika 7.: Struktura oklopljene STP bakrene parice	11
Slika 8.: Struktura koaksijalnog prijenosnog medija	13
Slika 9.: Osnovna struktura optičkog prijenosnog medija	16
Slika 10.: Potpuna unutrašnja refleksija unutar jezgre vlakna	17
Slika 11.: Presjek jednomodnog i višemodnih vlakana	17
Slika 12.: Širenje svjetlosne zrake u jednomodnom vlaknu	18
Slika 13.: Prikaz širenja svjetlosne zrake kod različitih izvedba optičkih vlakana	19
Slika 14.: Radiofrekvencijski spektar	20
Slika 15.: Radiokomunikacijski sustav	21
Slika 16.: Podjela žičnih širokopojasnih pristupnih mreža	22
Slika 17.: Arhitektura ADSL pristupne mreže	24
Slika 18.: Frekvencijski spektar koji koristi modulacija DMT u ADSL – u	25
Slika 19.: Osnovna arhitektura VDSL pristupne tehnologije	29
Slika 20.: Mogućnosti razvlačenja optičkih vlakana	31
Slika 21.: Arhitektura FTTx sustava	32
Slika 22.: Pristup Internetu ostvaren kablskim modemima	34
Slika 23.: Podjela bežičnih širokopojasnih pristupnih tehnologija	35

Slika 24.: Osnovna arhitektura bežične pokretne mreže	36
Slika 25.: Arhitektura WiFi bežične pristupne tehnologije	37
Slika 26.: Primjer arhitekture mreže za mali poslovni prostor	38
Slika 27.: Temeljna arhitektura P2MP mreže	41
Slika 28.: Arhitektura UMTS mreže	43
Slika 29.: Arhitektura LTE mreže	46
Slika 30.: Arhitektura VAS	49
Slika 31.: Arhitektura IPTV mreže	51
Slika 32.: Neki od OTT pružatelja usluga	53
Slika 33.: Razlike između IPTV i Video over IP usluga	54
Slika 34.: Odnos širokopojasne mreže i računalnog oblaka	55
Slika 35.: Primjena 4G routera u autobusima	57

Popis tablica

Tablica 1.: Kategorije Unshielded Twisted Pair (UTP) parica	12
Tablica 2.: Osnovna podjela DSL tehnologija	27
Tablica 3.: Usporedba prijenosnih brzina DSL tehnologija	30
Tablica 4.: Usporedni prikaz WiFi standarda	39



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj _____ završni rad

isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu _____ završnog rada
pod naslovom **Širokopojasne pristupne tehnologije**

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, _____ 11.9.2018 _____

Student/ica:

Ygor Norosel
(potpis)